



**Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecatrónica**

Programa Especial de Titulación:

**“Diseño de un proceso de paletizado
mediante procesamiento de imágenes
manipulado por el robot industrial Kuka,
en la empresa Abiexsa, Puente Piedra, año
2019”**

Autor: Jarni Raí Castillo Yarlequé

**para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecatrónico**

Lima – Perú

2020

DEDICATORIA

El presente documento es dedicado para mis padres, hermanas y familia, amigos, compañeros, colegas y estudiantes, así mismo para todas aquellas personas que en la búsqueda de aprender y expandir sus conocimientos, sirva el presente texto como ayuda y guía para sus investigaciones.

El esfuerzo y conocimiento de varios años de estudios, constante práctica y errores de campo, que sirven para el reforzamiento profesional, quedan plasmados en este trabajo, para que sea de ayuda y también para que sea cuestionado, puesto que las personas que cambiarán al mundo son aquellas que aprenden algo y lo mejoran. Espero que sea estudiado y comprendido todos los conceptos y desarrollos propuestos.

Todo este trabajo es dedicado para ustedes.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi madre Emma Yarlequé y a mi padre Jorge Castillo por los valores enseñados y la educación recibida, el gran esfuerzo de apoyarme en toda mi carrera universitaria; así mismo a mis hermanas por el cariño y el apoyo incondicional obtenido en esta etapa y por su ayuda recibida.

Así mismo a mis colegas ingenieros con los cuales tuve una vida universitaria llena de experiencias inolvidables, experimentos y proyectos concretados gracias al trabajo grupal. De igual forma agradecer a mis profesores que impartieron en mí, los conocimientos con los cuales hoy me desenvuelvo en mi vida laboral. También a mi asesor por su respaldo y motivación, por las críticas constructivas a este trabajo que se presenta en este documento.

RESUMEN

El proyecto de “Diseño de un proceso de paletizado mediante procesamiento de imágenes manipulado por el robot industrial Kuka”, realiza la convergencia de procesamiento de imágenes, robótica industrial y comunicación industrial para el paletizado de cajas en una planta industrial. Se utiliza el procesamiento de imágenes para la adquisición de imágenes, el tratamiento de imágenes, para al final poder discriminar la imagen respecto al área de la caja. Luego, mediante comunicación máquina-robot, se designa hacia que palé se trasladará la caja, para esto el robot debe tener puntos predefinidos guardados en el controlador del robot industrial. También se realiza el diseño del efector final para las dimensiones de las cajas, se escoge una pinza neumática por su eficiencia en industria.

Al finalizar, los análisis y diseños de cada parte del sistema de paletizado, se realiza la selección de los componentes que mejor se ajusten a los diseños obtenidos a través de la simulación y fórmulas matemáticas. Así mismo se realiza la seguridad de instalación de los componentes.

Palabras claves: Procesamiento de imágenes, robot industrial, paletizado.

ABSTRACT

The project “Design of a process of palletizing through image processing manipulate for the industrial robot Kuka”, perform convergence of image processing, industrial robotic and industrial communication for the palletizing of boxes in a factory. It uses of image processing for the image acquisition, for at finish it can select the image respect to area of box. Then through machine-robot communication this appoints toward pallet will move the box, for this, the robot should have three pre-definite points save in the industrial robot control. Furthermore, it makes the design of gripper for the dimensions of the boxes, it chooses a pneumatic gripper owing its efficiency in industry.

The analysis and designs of each system of palletizing, it makes selection of the components of better adjust to got design and simulate. Also it makes the security of installation.

Keywords: Image processing, industrial robots, palletized.

Declaración de Autenticidad y No Plagio Ingeniería Mecatrónica

Por el presente documento, yo Jarni Raí Castillo Yarlequé, identificado/a con DNI N° 71925137, bachiller de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, informo que he elaborado la Tesis/Trabajo de Suficiencia Profesional denominado “Diseño de un proceso de paletizado mediante procesamiento de imágenes manipulado por el robot industrial Kuka, en la empresa Abiexsa, Puente Piedra, año 2019”, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico. Declaro que este trabajo ha sido desarrollado íntegramente por el/los autor(es) que lo suscribe(n) y afirmo que no existe plagio de ninguna naturaleza. Así mismo, dejo constancia de que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo, por lo que no se ha asumido como propias las ideas vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos como en Internet.

Así mismo, afirmo que soy responsable solidario de todo su contenido y asumo, como autor, las consecuencias ante cualquier falta, error u omisión de referencias en el documento. Sé que este compromiso de autenticidad y no plagio puede tener connotaciones éticas y legales. Por ello, en caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a lo dispuesto en las normas académicas que dictamine la Universidad Tecnológica del Perú y a lo estipulado en el Reglamento de SUNEDU.

Lima, 22 de agosto del 2019.

.....
Jarni Raí Castillo Yarlequé
71925137

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA ESPECIAL DE TITULACIÓN
CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO DE DATOS EN PROYECTO

Lima, 22 de Agosto del 2019

Yo, **Aban Melgarejo, Ronald**, identificado con **DNI N° 10203477**, teniendo cargo de Gerente General, representante de la **ABAN IMPORT & EXPORT S.A.**, con **RUC N° 20505093209**, autorizo a **Jarni Raí Castillo Yarlequé** a utilizar los datos de la organización necesarios para desarrollar su Informe de Suficiencia Profesional referidos al proyecto de Diseño de un proceso de paletizado mediante procesamiento de imágenes manipulado por el robot industrial Kuka, en la empresa Abiexsa, Puente Piedra, año 2019.

ABAN S.A.
ABAN IMPORT & EXPORT S.A.

Ronald Aban Melgarejo
GERENTE GENERAL

Firma y Sello Representante de Empresa

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INDICE DE FIGURAS	xiii
INDICE DE TABLAS	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO 1	16
ASPECTOS GENERALES	16
1.1. Definición del problema	16
1.1.1. Descripción del problema	16
1.1.2. Formulación del problema	19
1.2. Definición de objetivos	19
1.2.1. Objetivo general	19
1.2.2. Objetivos específicos	19
1.3. Alcances y limitaciones	19
1.3.1. Alcances	19
1.3.2. Limitaciones	20
1.4. Justificación	20
1.4.1. Justificación tecnológica	20
1.4.2. Justificación económica	20
1.4.3. Justificación social	21
1.4.4. Justificación medio ambiental	21
1.5. Viabilidad	21
1.5.1. Viabilidad tecnológica	21
1.5.2. Viabilidad económica	21
CAPÍTULO 2	23
MARCO TEÓRICO	23
2.1. Antecedentes	23
2.1.1. Antecedentes internacionales	23
2.1.2. Antecedentes nacionales	24
2.2. Fundamento Teórico	25
2.2.1. Industria	25
2.2.1.1. Industria 4.0	26
2.2.1.2. Industria metalmecánica	27

2.2.1.3.	Características de la industria metalmecánica	28
2.2.1.4.	Línea de paletizado	28
2.2.1.4.1.	Normalización de los palés	29
2.2.2.	Robótica industrial	32
2.2.2.1.	Automatización	33
2.2.2.2.	Robots articulados	36
2.2.2.3.	Partes del robot industrial	36
2.2.2.3.1.	Parte mecánica.....	36
2.2.2.3.2.	Articulaciones	37
2.2.2.3.3.	Número de ejes	37
2.2.2.3.4.	Configuraciones del robot industrial	38
2.2.2.3.4.1.1.	Configuración cartesiana	38
2.2.2.3.4.1.2.	Configuración cilíndrica.....	39
2.2.2.3.4.1.3.	Configuración polar.....	39
2.2.2.3.4.1.4.	Configuración angular.....	40
2.2.2.3.5.	Efector final.....	41
2.2.2.3.5.1.1.	Tipos de efector final.....	41
2.2.2.3.5.1.2.	Efector neumático.....	42
2.2.2.4.	Sistema del controlador del robot industrial	43
2.2.2.5.	Sistema de potencia	43
2.2.3.	Visión artificial.....	44
2.2.3.1.	Procesamiento de imágenes	44
2.2.3.2.	Adquisición de imágenes.....	44
2.2.3.3.	Preprocesamiento de la Imagen	45
2.2.3.3.1.	Conversión de imagen a escala de grises.....	45
2.2.3.3.2.	Histograma de una imagen	46
2.2.3.3.3.	Transformación a una imagen binaria.....	47
2.2.3.4.	Segmentación.....	48
2.2.3.4.1.	Binarización automática.....	48
2.2.3.4.2.	Operaciones morfológicas	50
2.2.3.4.2.1.	Dilatación.....	50
2.2.3.4.2.2.	Erosión	51
2.2.3.4.3.	Etiquetado	51
2.2.3.4.4.	Filtro de la mediana	52
2.2.3.4.5.	Método de Canny	52
2.2.3.5.	Descripción.....	52
2.2.3.5.1.	Tamaño	53

2.2.3.5.2. Centro de gravedad	53
2.2.3.5.3. Orientación	53
2.2.3.5.4. Rotación de ejes	54
2.2.3.6. Software de procesamiento de imágenes	55
2.2.3.6.1. Software de Matlab.....	56
2.2.4. Sensores y actuadores	56
2.2.4.1. Sensores	56
2.2.4.1.1. Sensores de proximidad inductivos.....	56
2.2.4.1.2. Sensores de proximidad capacitivos.....	57
2.2.4.2. Actuadores	58
2.2.4.2.1. Actuadores Eléctricos	58
2.2.4.2.2. Actuadores Hidráulicos	58
2.2.4.2.3. Actuadores Neumáticos.....	59
2.2.4.2.4. Válvulas	62
CAPITULO 3	63
DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	63
3.1. Sistema de paletizado a través de procesamiento de imágenes.....	63
3.2. Metodología de trabajo	64
3.3. Análisis	65
3.3.1. Análisis del pallet.....	65
3.3.2. Análisis del efector final	67
3.3.3. Análisis del algoritmo de procesamiento de imágenes.....	70
3.3.4. Análisis del algoritmo del robot	70
3.3.5. Análisis de riesgos en el área de trabajo	72
3.4. Diseño	73
3.4.1. Diseño del sistema neumático para el gripper	73
3.4.2. Diseño del algoritmo de procesamiento de imágenes.....	77
3.4.3. Diseño del algoritmo del robot	93
3.4.4. Enlace Matlab y robot Kuka	97
3.4.5. Diseño del área de trabajo.....	98
3.5. Selección	100
3.5.1. Selección del robot industrial a escoger.....	100
3.5.2. Selección del sistema neumático.....	103
3.5.3. Selección de la cámara	104
3.5.4. Selección de los sensores	105
CAPITULO 4	107
RESULTADOS	107

4.1. Resultados	107
4.2. Presupuesto	109
CONCLUSIONES.....	111
RECOMENDACIONES.....	112
OBSERVACIONES	113
BIBLIOGRAFÍAS	114
ANEXOS	117

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Personal técnico levantando cajas pesadas de 20 kg.	17
Figura 2. Personal realizando una tarea repetitiva para el levantamiento de cajas con productos en su interior.	18
Figura 3. Área de trabajo obstaculizando por un cuello de botella al no abastecerse para el paletizado manual.	18
Figura 4. Consecuencias de un mal paletizado, roturas y deterioros en las cajas.	18
Figura 5. Línea de tiempo en el que se observa la revolución industrial hasta hoy.	27
Figura 6. Línea de flejado en cruz.	29
Figura 7. Sistema automatizado de paletizado de cajas con robots industriales.	29
Figura 8. Pallet ISO 3676.	31
Figura 9. Demanda de los robots industriales en el año 2016.	32
Figura 10. Automatización rígida.	34
Figura 11. Automatización flexible.	34
Figura 12. Pirámide de los 5 niveles de automatización.	36
Figura 13. Robot de 7 ejes.	37
Figura 14. Robot de 4 grados de libertad.	38
Figura 15. Configuración cartesiana.	39
Figura 16. Configuración cilíndrica.	39
Figura 17. Configuración polar.	40
Figura 18. Configuración angular.	40
Figura 19. Acoplamiento de una herramienta al efector final.	41
Figura 20. Robot Fanuc para soldadura por arco.	42
Figura 21. Gripper neumático paralelo.	43
Figura 22. Equipo Fanuc con la parte de control y potencia.	44
Figura 23. El ojo humano visualiza un objeto en 3D.	45
Figura 24. Descomposición de la imagen en RGB.	45
Figura 25. Imagen en escala de grises.	46
Figura 26. Histograma de una imagen.	47
Figura 27. Imagen binaria.	48
Figura 28. Dilatación.	50
Figura 29. Erosión.	51
Figura 30. Vecindad de 4 y 8.	52
Figura 31. Rotación de ejes.	55
Figura 32. Sensor de proximidad inductivo.	57
Figura 33. Sensor de proximidad capacitivo.	57
Figura 34. Motores eléctricos paso a paso.	58
Figura 35. Pistón Hidráulico de Telescópico de simple efecto.	59
Figura 36. Pistones neumáticos.	59
Figura 37. Válvula neumática de rodillo.	62
Figura 38. Sistema de paletizado con procesamiento de imágenes mediante robot industrial.	64
Figura 39. Metodología de trabajo.	65
Figura 40. Diagrama de cuerpo libre.	67
Figura 41. Proceso del procesamiento de imágenes.	70
Figura 42. Diagrama de flujo de la programación del robot.	71
Figura 43. Diseño del circuito neumático.	73
Figura 44. Pistón en estado abierto.	73
Figura 45. Pistón contraído.	74

Figura 46. Cargar al aplicar al gripper.....	74
Figura 47. Plancha.....	75
Figura 48. Esquema de deformacion del gripper al sujetar las cajas.....	76
Figura 49. Diseño del gripper neumático.....	76
Figura 50. Luminiscencia del entorno	77
Figura 51. Datos de la cámara.....	78
Figura 52. Adquisición de la imagen.	78
Figura 53. Algoritmo RGB a escala de grises.....	79
Figura 54. Imagen RGB a escalas de grises.....	79
Figura 55. Histograma de la imagen.	80
Figura 56. Método de Otsu.	81
Figura 57. Algoritmo de dilatación y erosión.	82
Figura 58. Respuesta del algoritmo.	82
Figura 59. Algoritmo de etiquetado.	83
Figura 60. Eliminación de objetos	84
Figura 61. Función etiquetada.	85
Figura 62. Centro de gravedad.	85
Figura 63. Centro de gravedad del objeto.	86
Figura 64. Algoritmo de orientación del objeto.	86
Figura 65. Orientación del objeto.	87
Figura 66. Algoritmo de contorno.....	87
Figura 67. Contorno del objeto.....	88
Figura 68. Esquinas de imagen	89
Figura 69. GUIDE del algoritmo de procesamiento de imágenes.....	90
Figura 70. Preprocesamiento del disco.....	91
Figura 71. Contorno del disco.....	91
Figura 72. Algoritmo de promedio de diámetro.	92
Figura 73. GUIDE para calibrar la imagen.	92
Figura 74. Sistema de palés.	93
Figura 75. Edición de base y herramientas.....	94
Figura 76. Posiciones del robot.....	95
Figura 77. Algoritmo del robot.....	96
Figura 78. Tablero KUKA.....	97
Figura 79. Conexión TCP/IP.	97
Figura 80. Sistema de paletizado.....	98
Figura 81. Celda robótica de CNC con robot industrial Fanuc.....	99
Figura 82. Celda robótica de paletizado y CNC	99
Figura 83. Sistema de paletizado con montacargas móvil.	100
Figura 84. Celda de paletizado	100
Figura 85. Robot seleccionado	102
Figura 86. Controlador del robot	102
Figura 87. Cilindro neumático DSBC-32-200-PPVA-N3.....	103
Figura 88. Válvula 3/2.	104
Figura 89. Cámara para procesamiento de imágenes.....	105
Figura 90. Sensor fotoeléctrico difuso.....	106
Figura 91. Sensor Capacitivo.....	106
Figura 92.- El centro de gravedad calculado por el algoritmo de procesamiento de imágenes.....	107
Figura 93. Robot Kuka KR 40 PA.....	119
Figura 94. Espacio de trabajo del robot kuka KR 40 PA.....	119

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las cajas	66
Tabla 2. Tabla de piezas fabricadas y cajas, longitudes y volumen por pallet.....	66
Tabla 3. Entradas y salidas del robot industrial	72
Tabla 4. Peligro y/o riesgos / Medidas de control.....	72
Tabla 5. Características del robot	101
Tabla 6. Característica de los controladores.	101
Tabla 7. Datos técnicos del cilindro neumático Festo.....	103
Tabla 8. Datos técnicos de la válvula VUWG.	104
Tabla 9. Comparación de cámaras	105
Tabla 10. Comparación de sensores fotoeléctricos difusos.....	105
Tabla 11. Comparación de sensores capacitivos	106
Tabla 12. Presupuesto del Diseño	109
Tabla 13. Actividades del ISP	110
Tabla 14. Actividades del trabajo.	110

INTRODUCCIÓN

Dentro de todos los procesos internos que realiza una empresa, la línea de paletizado es una de ellas, la cual al igual que las otras áreas se desarrollan tecnologías para su mejor desarrollo. Uno de los desarrollos que se viene dando en este sector es la implementación de procesamiento de imágenes y robots industriales para un paletizado más automatizado. Por lo tanto, este proyecto implementa tales tecnologías, teniendo como puntos críticos el diseño de algoritmo del procesamiento de imágenes y la comunicación entre el robot y el sistema de procesamiento de imágenes para el proceso de paletizado.

Con este sistema desarrollado se trata de resolver el conflicto de paletizado de manera manual, hecho por mano de obra humana, por un proceso automatizado y no poniendo en riesgo la integridad física de los trabajadores. En el capítulo 1, se presentará el problema que tiene la empresa, una posible solución, así mismo los objetivos que se desea alcanzar con el sistema implementado, los alcances y el impacto generado por el diseño del sistema paletizado. En el capítulo 2, se presenta las soluciones y conclusiones escritas por otros investigadores, con desarrollos parecidas a este sistema presentado, de la misma forma se presenta el marco teórico que sirve de sustento para todo el diseño propuesto. En el capítulo 3, se observará la solución del problema, teniendo en cuenta una metodología de análisis en primer lugar, luego el diseño de cada sistema para su convergencia total de todos ellos en uno solo y por finalizar la selección de todos los componentes que tendrá el sistema diseñado; en este capítulo se encuentra el algoritmo de procesamiento de imágenes del robot, el algoritmo del robot y la comunicación entre ambos, así como el diseño total del sistema. En el capítulo 4, se expresa los resultados obtenidos por el algoritmo del procesamiento de imágenes. Finalmente, las conclusiones del sistema de paletizado y propuestas de mejor

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1. Definición del problema

1.1.1.Descripción del problema

La línea de paletizado dentro de la industria, es la cual se encarga de agarrar, apilar y ordenar los productos en sus respectivos lugares, para ser llevados a su destino final sea el cliente u otra parte dentro de la empresa. Dependiendo de la empresa, la línea de paletizado puede ser manual o mecánico. Algunos proyectos hablan sobre paletizado mecánico para un paletizado automático si es que es un producto de una sola característica, pero qué es lo que pasa si es que, por la misma línea (un ejemplo es por una faja transportadora) entran productos con diferentes dimensiones o características, un paletizado mecánico no es una buena solución.

En este caso la empresa metalmecánica tiene una línea de paletizado manual como se observa en la figura 1, cuenta en tal línea con 3 personas que seleccionan productos de los sacos que contienen diferentes productos y empaquetarlos, estas cajas contienen 3 diferentes productos y las formas de las cajas tienen diferentes medidas; todas estas cajas hacen un recorrido por una línea de producción, en la cual las personas sujetan las cajas con el producto y lo llevan a un contenedor que es llenado y luego trasladado a otro sector de la empresa. Escoger el objeto y colocarlo en el recipiente se demora un promedio de 2 a 5 minutos, ya que el paquete es pesado y el recipiente está en una posición baja.

Esta acción es repetitiva como se visualiza en la figura 2, en ocasiones, ha generado en los trabajadores daños ergonómicos que les ha impedido seguir

realizando la tarea continuamente, generando en algunas ocasiones un retraso en esta línea, que provoca un “embudo” o “cuello de botella”, de esta forma se obtiene una pérdida en la productividad y retraso con los pedidos diarios. Así mismo ante estos problemas, los trabajadores de otras áreas tienen que dejar su trabajo e ir a auxiliar la línea de paletizado. Dejando en ocasiones el producto en el área de trabajo y obstaculizando esta área como se observa en la figura 3.

También debido a la repetitividad de la tarea, los trabajadores no estiman las consecuencias de un mal paletizado, esto se puede observar en la figura 4, donde los productos mal apilados sobre el pallet generan daños en la caja, de la misma forma al interior del producto, en ocasiones ha sufrido de roturas y la empresa ha tenido que ser responsable con la devolución de nuevas piezas para que el cliente quede satisfecho.

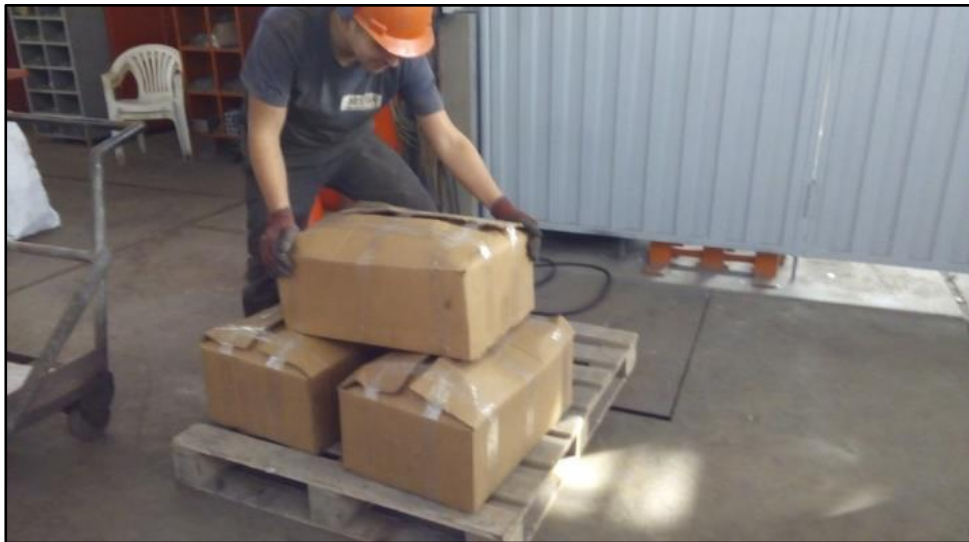


Figura 1. Personal técnico levantando cajas pesadas de 20 kg.

Fuente: Elaboración propia



Figura 2. Personal realizando una tarea repetitiva para el levantamiento de cajas con productos en su interior.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3. Área de trabajo obstaculizando por un cuello de botella al no abastecerse para el paletizado manual.

Fuente: Elaboración propia



Figura 4. Consecuencias de un mal paletizado, roturas y deterioros en las cajas.

Fuente: Elaboración propia

1.1.2. Formulación del problema

Una vez que se sabe sobre los daños ergonómicos que se generan por tareas repetitivas y adicionalmente la lentitud del proceso de paletizado en la industria. ¿Se podrá diseñar un sistema de automatización de paletizado en una industria metalmecánica?

1.2. Definición de objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar el sistema de paletizado mediante el procesamiento de imágenes en la línea con un robot industrial en una industria metalmecánica.

1.2.2. Objetivos específicos

Diseñar el algoritmo para el procesamiento de imágenes.

Diseñar el proceso de discriminación de objetos.

Diseñar el algoritmo para el Robot industrial.

Diseñar el sistema integrado de procesamiento de imágenes con el robot industrial.

1.3. Alcances y limitaciones

1.3.1. Alcances

El actual proyecto tiene como alcance el apilamiento de cajas en su respectivo orden y lugar, para ello las cajas se seleccionan a través de un robot industrial que discrimina las cajas con respecto a sus dimensiones, esto mediante procesamiento de imagen.

La integración mediante software para dar órdenes al robot, así mismo su selección de efector final para poder coger los objetos deseados.

1.3.2. Limitaciones

La discriminación de las cajas no se realizará con respecto al objeto físico en su interior.

El desarrollo del proyecto no llegara a la implementación de éste, debido a decisiones privadas de la empresa en la que se presta tales servicios de automatización.

El robot manipulador debe esperar a que el pallet lleno de cajas sea removido del área de trabajo y puesto un pallet nuevo de manera manual en el área de trabajo para que este comience desde el inicio el apilamiento de las cajas.

La comunicación no va ser efectiva debido a la carencia de componentes esenciales que corresponden a un elemento importante en el desarrollo del proyecto.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación tecnológica

El proyecto utiliza tecnología que hoy genera un gran impacto en cualquier empresa que se implemente dicho sistema de automatización. Por ende, el mayor beneficiado es la empresa que invierte en mayor desarrollo tecnológico para mejoras de automatización de procesos, poniendo en vanguardia a la empresa en su sector.

1.4.2. Justificación económica

La inversión en desarrollo e investigación en este proyecto, tiene como resultado la obtención de un sistema automatizado que cumpla con las expectativas deseadas por la empresa, para su implementación en beneficio de la empresa. Los costos de implementación de este proyecto con respecto a la rentabilidad a largo plazo son mejores que los proveídos por mano de obra.

1.4.3. Justificación social

El proyecto resuelve el problema de daño ergonómico que se presenta en algunos trabajadores por el sobre esfuerzo al momento de levantar los objetos pesados. También proyecto favorece un mejor ambiente laboral, ya que tiene toda la seguridad para su buen funcionamiento con parámetros pre establecidos para la no lesión del personal de trabajo que pueda estar cerca.

1.4.4. Justificación medio ambiental

El presente proyecto utiliza tecnología que no daña al ambiente, tampoco utiliza soluciones o compuestos que alteren el ambiente de trabajo, así mismo por sus propias características y producción su contribución o impacto medio ambiental es mínimo.

1.5. Viabilidad

1.5.1. Viabilidad tecnológica

El actual proyecto se puede lograr debido a los conocimientos de ingeniería y conocimientos técnicos. Tanto el software como el hardware son de acceso público y obtenido en los mercados nacionales o internacionales. De igual forma el proyecto, que se ha de implementar en el futuro, tiene sostenibilidad de soporte técnico, así como su mantenimiento. Este sistema será más usado a largo plazo y por ende se puede acoplar a mejoras de automatización con otros procesos dentro de la empresa.

1.5.2. Viabilidad económica

La empresa metal mecánica se encuentra en el rubro de fabricación de piezas para industria y de construcción, por ello cuenta con la solvencia económica para realizar proyectos de automatización dentro de sus instalaciones. Por lo cual uno de sus presupuestos será dirigido para la realización de este proyecto, y solventar los gastos que éste genere.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Algunas investigaciones realizadas sobre el tema, abordan las ventajas y desventajas de tener un sistema automático de paletizado, así mismo en algunas de ellas plantean soluciones versátiles a través de la implementación de brazos robóticos y en casos más avanzados donde el producto es dinámico la solución es la integración de la robótica industrial y el procesamiento de imágenes para seleccionar el producto adecuado y de la manera más óptima.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Castilla (2015) en su tesis “*Protocolo de comunicación trabajador-robot mediante imágenes*”, tiene como objetivo principal que el robot articulado recree una imagen cualquiera dibujada sobre la mesa de trabajo. Para ello utiliza el software de Matlab en el procesamiento de imágenes mediante una cámara web USB, así mismo utiliza el robot ABB IRB120 para realizar los trazos con un efector final, programando este robot en la aplicación RAPID realizado por la compañía ABB. Su trabajo nos enseña a realizar una comunicación de envíos de datos al robot, interactuando en tiempo real con el ambiente.

Rey (2014) en su tesis de “*Diseño e implementación de un sistema integrado de clasificación y control de calidad utilizando un manipulador tipo delta y mano robótica antropomórfica*”, se centra en poder diseñar y programar un robot delta, para seleccionar objetos geométricos, en la parte de visión artificial, se extrae conceptos y demostraciones entre las diferencias de detección de borde con los métodos Prewitt, Roberts, Sovel, Laplaciano del Gaussiano y Canny, llegando a utilizar este último método para detección de bordes por sus beneficios. Quedando demostrado que su algoritmo sirve para la detección de objetos, sea

por su forma o por su color, con un robot delta; como para una mano robótica antropomórfica.

Guanín (2015) en su tesis de *“Sistema de control electrónico mediante comandos de voz para un robot secuencial”*, tiene como propósito el poder sujetar objetos de diferentes colores mediante un robot articulado con instrucciones a través de la voz, su método implica almacenar las instrucciones de voz y procesarlos con el software de Matlab, para saber dónde se encuentran los objetos tienen como herramienta una cámara web para la adquisición de imágenes y luego es procesada por el mismo software. Para el robot articulado se utiliza un robot de 6 grados de libertad DORF con un efector final tipo garra, por su parte para el control del mismo se utiliza Arduino y shields del mismo entorno de la placa Arduino. Su innovación para esta área es la integración de varios procesos junto a la robótica para entornos en tiempo real.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Roncal (2015) demuestra a través de su tesis *“Diseño mecánico de un gripper para brazo robot para el paletizado de cajas de 20kg y pallets de 25kg”*, los diferentes tipos de paletizado que hay en una industria, planteando una solución en el diseño del efector final del robot es crucial para cada tipo de paletizado, haciendo de éste una mejora de optimización en esta línea. Para su solución se utilizó energía neumática en el gripper, seleccionando así los pistones con los se puede sujetar el objeto sin que este se deslice. Así mismo el gripper para el robot industrial tuvo un diseño con dos gripper, uno neumático tipo paralelo para poder sujetar la caja y el otro neumático tipo tenaza para sujetar los pallets y trasladarlos.

Viera (2017) en su tesis de *“Procesamiento de imágenes usando OpenCV aplicado en raspberry pi para la clasificación del cacao”*, tiene como principal objetivo la detección de granos de cacao para la clasificación respecto a sus

tamaños y obtener una mayor calidad del producto para el cliente. Utiliza OpenCV y raspberry para su solución final, sin embargo, la prueba concerniente al estudio antes dicho lo hace en el software de Matlab para la observación del funcionamiento de su código. Utiliza las técnicas clásicas para el procesamiento de imágenes, y hallar consigo el centro de áreas y longitudes de eje, para discriminar el grano de cacao que conviene resguardar.

Beltrán (2015) en la tesis de *“Aplicación de la Lógica difusa en la visión artificial bidimensional para mejorar la locomoción bípeda de robots humanoides de carrera”*, propone como objetivos la investigación del procesamiento de imágenes desde la aplicación de lógica difusa, procesa primero la imagen en tiempo real para poder discriminar el recorrido de la línea a través de una lógica difusa moviendo los servomotores en grupo para su movilización. Toma como parámetros de la imagen una forma binaria y trata de ubicar el centro de la imagen para continuar con el recorrido, tratando de situar en la parte centro el camino a recorrer. De esta forma realiza con éxito el recorrido a través del camino a seguir, demostrando que la lógica difusa ayuda en la interacción de robots bípedos y la visión artificial en tiempo real.

2.2. Fundamento Teórico

2.2.1. Industria

Una definición para industria, “La industria moderna se caracteriza por la utilización de fuentes de energía alternativas a la provista por el trabajo humano, es la consecuente utilización de maquinaria impulsada por el vapor, la electricidad o el petróleo, en un proceso creciente de innovación tecnológica y división del trabajo (...)” (Sartelli, 2001, p.6), entonces podemos definir que la industria es el lugar en el cual la materia prima se transforma en productos según la industria en la que se lleve a cabo el proceso. El propósito es la satisfacción del consumidor o de la empresa a la que llega el producto.

Todas las partes que conforman la industria, deben de estar en constante comunicación y organización para cumplir con las metas propuestas. Algunas de estas industrias más importantes son: textil, alimentaria, mecánica, automovilística y cementera; entre una de ellas destaca la industria metalmecánica.

2.2.1.1. Industria 4.0

La industria tuvo una evolución en la historia, desde la primera revolución industrial surgida a partir de la máquina de vapor, continuado por la segunda revolución industrial con el desarrollo de industrias y mejoras de electricidad, al final por la tercera Revolución Industrial que es impactada por el desarrollo en semiconductores y el internet; llegamos a la cuarta revolución industrial. También llamado industria 4.0, tiene un concepto por Valdivia (2016):

“También es habitual referirse a este concepto con términos como “Fábrica Inteligente” o “Internet industrial”. En definitiva, se trata de la aplicación a la industria del modelo “Internet de las cosas” (IoT). Todos estos términos tienen en común el reconocimiento de que los procesos de fabricación se encuentran en un proceso de transformación digital, una “Revolución Industrial” producida por el avance de las tecnologías de la información y, particularmente, de la informática y el software.” (p.3)

Entonces la industria 4.0 es la revolución industrial que se está desarrollando en estos tiempos, se viene dando gracias a la innovación del internet, la robótica, la inteligencia artificial y la nanotecnología.

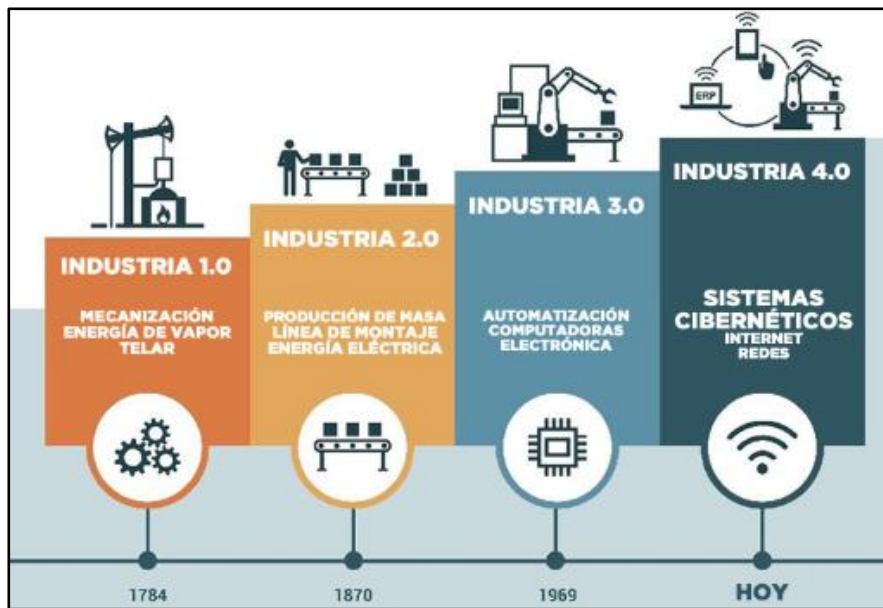


Figura 5. Línea de tiempo en el que se observa la revolución industrial hasta hoy.

Fuente: (Rodríguez, 2012, p. 32)

2.2.1.2. Industria metalmecánica

La industria metalmecánica trabaja con materiales metálicos y materia prima de este origen, por lo cual es una de las industrias más importantes en el sector industrial, ya que esta se encarga de proveer repuestos y suministros a otras industrias de mayor peso, una de sus definiciones viene dada por lo siguiente:

“...la industria metal mecánica es una rama específica del sector manufacturero que se dedica a la transformación mecánica y física del metal en sus fases primarias (metales ferrosos y no ferrosos), modificando así su forma o naturaleza con el fin de generar productos que destinen: alimentar procesos industriales, a la inversión del capital (maquinaria, equipos y herramientas), y al consumo directo en forma de bienes duraderos...” (Acebedo, Vaires y Perdomo, 2009, p.3)

por lo cual su logística, tiempo de producción de piezas y calidad, deben ser las más eficientes. Por ello la industria metalmecánica desarrolla y se actualiza diariamente automatizando la mayor parte de los sectores de su empresa, para mayor productividad.

2.2.1.3. Características de la industria metalmecánica

En la industria metalmecánica destaca por trabajar y hacer miles de piezas al día, según el Instituto Nacional de Educación Tecnológica (INET, 2009) menciona que "...las características de los procesos y subprocesos involucrados como la capacidad tecnológica requerida para producirlos están condicionadas por la escala de producción..." (p.46), por ello utilizan maquinas enormes y de gran peso y complejidad, por ejemplo: maquinas CNC, fresadoras, cizalladoras, cortadoras automáticas, sierras industriales, máquinas de soldar, forjas, etc. Cada una de las maquinas antes mencionadas pertenecen a una parte de la empresa y por lo tanto pasa el producto antes de finalizar en el paletizado el cual es el punto de interés.

2.2.1.4. Línea de paletizado

También definido por Londoño (2013) "Sistema Paletizador: es un mecanismo, robot u algún otro medio de manipulación para estibar en un palé de producto terminado" (p.13) entonces la línea de paletizado o sistema paletizador es de gran importancia dentro de la industria, ya que esta selecciona y carga objetos de gran peso o con características específicas, moviéndolos de un lado a otro para diferentes fines encima. La complejidad dentro del paletizado es saber ordenar los objetos y el esfuerzo empleado en ellos, ya que los productos finales no deben presentar roturas o caídas en su selección. Por ello las industrias automatizan esta sección ya que es una tarea repetitiva, una persona con buen estado físico podría sufrir fatiga o daños ergonómicos por este tipo de tarea. Es por ello que la solución más óptima es una línea de paletizado como se observa en la figura 6. Una línea de flejado paletizado cajas con bandeja y envoltura pallets, siendo una automatización aún un poco mecánica.

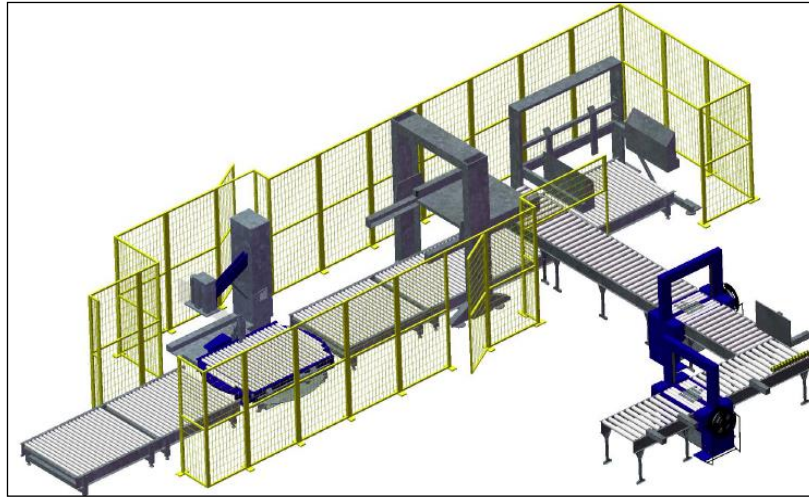


Figura 6. Línea de flejado en cruz.

Fuente: (Barajas PKG Group, 2002, parr.3)

Por otra parte, tenemos este paletizado automatizado industrial, el cual tiene componentes robóticos en su totalidad, otorgando a esta forma una automatización flexible como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Sistema automatizado de paletizado de cajas con robots industriales.

Fuente: (Inser Robótica S.A., 2019, parr.1)

2.2.1.4.1. Normalización de los palés

Cualquier máquina o producto que se utilice en el sector industrial debe de estar normalizado o reglamentado bajo ciertos parámetros para el buen desempeño del mismo, los palés para Gonzales (2007) define lo siguiente:

“Formar un palé, requiere mantener las condiciones de unificación de cargas necesarias, aprovechando el espacio disponible al máximo y respetando los normativos que limitan aspectos, como las dimensiones de las tarimas y la altura máxima recomendada para la formación de una estiba adecuada” (p.29).

De esta forma se tiene dos tipos de palés normalizados a nivel mundial, estos son:

2.2.1.4.1.1. Palé europeo o europalet

EL palé europeo tiene las siguientes características según Nozal (2018) “La medida normalizada por la Asociación Europea del Palé (EPAL) es de 800 x 1200 milímetros, pesan 25 kg y son capaces de resistir una carga dinámica de 1500kg y una carga estática de 5500 kg. Este palé es el más usado en logística europea” (parr.4).

2.2.1.4.1.2. Palé universal o isopalet

Por otra parte, se tiene el palé también llamado americano y Nozal (2018) lo define con las siguientes características “Este tipo de palet esta normalizado bajo la norma ISO 3676 y sus medidas son de 1000 x 1200 mm, pesan 30 kg, permitiendo sostener cargas dinámicas máximas de 1500 kg y cargas estáticas máximas de 4500 kg” (parr.7).

Se presentan a continuación algunas ecuaciones referentes al número de objetos de carga que se puedan cargar sobre el palé, para analizar las medidas de las cajas a utilizar y el volumen que ocupa sobre el palé, Gonzales (2007) indica los siguientes:

Podemos obtener cuantas cajas podrán entrar en la primera capa del palé realizando la siguiente fórmula (p.30):

$$N^{\circ}Cajas\ Horizontal = \frac{1.20\ m^2}{L1xL2} \dots (1)$$

Donde L1 y L2 son los lados de la caja que se colocaran encima del palé
 Para saber el número de cajas que se podrá colocar una encima de otra se utiliza la siguiente fórmula realizada por (p.31):

$$N^{\circ}Cajas\ Vertical = \frac{Fc*Fs}{PB+1} \dots (2)$$

Dónde: Fc = Fuerza de compresión que resiste la caja (N/m^2)

Fs = Factor de seguridad

PB = Peso Bruto cuya fórmula es:

$$PB = (\text{peso } x \text{ unidad} + \text{Peso empaque}) * (\text{Numero de unidades } x \text{ caja}) + \text{peso de la caja}$$

Para determinar el número de cajas totales en el palé se utiliza la siguiente fórmula:

$$N^{\circ}CajasTotales = N^{\circ} N^{\circ}Cajas\ Horizontal * N^{\circ}Cajas\ Vertical \dots (3)$$

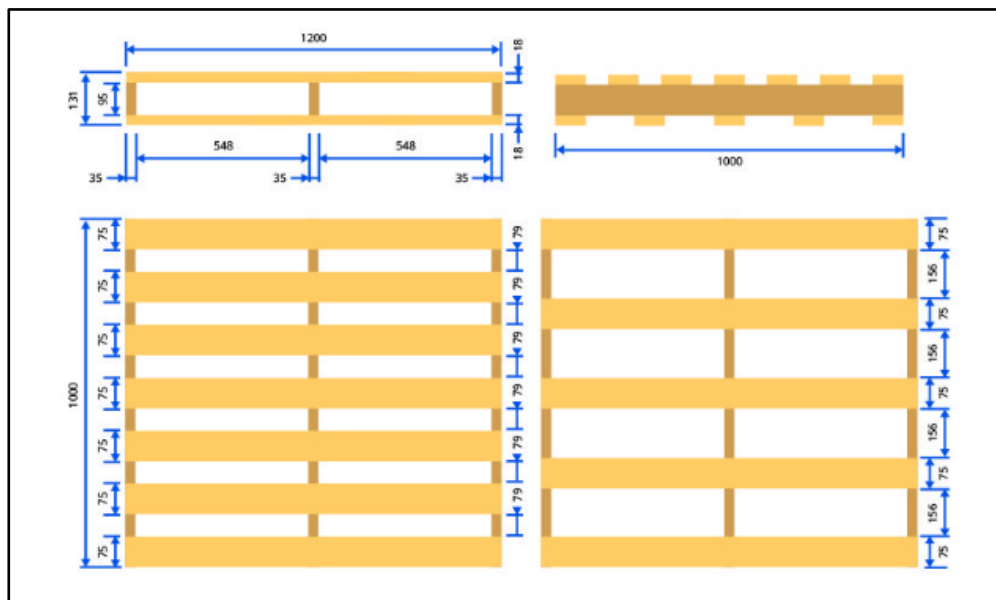


Figura 8. Pallet ISO 3676

Fuente: (Nozal, 2018, parr. 6)

También Gonzales (2007), realiza la siguiente afirmación:

“Si el número de cajas no es exacto, éste debe aproximarse al número mayor siempre, que la altura no sobre pase más 2.54 cm (1pulga). la altura establecida por ISO que es de 1.35 m desde el piso a la última capa, o de 1.20 m desde el nivel de la tarima hasta la última capa” (p.31).

De esta forma se puede realizar un correcto paletizado bajo las normas ISO correspondientes y estipuladas anteriormente.

2.2.2. Robótica industrial

La robótica industrial en los últimos años obtuvo grandes avances tecnológicos, ello nos lleva a realizar desde tareas básicas a tareas complejas como identificación de productos con redes neuronales.

“El concepto de las maquinarias industriales no está basado sólo en repetir un simple movimiento a la mayor velocidad posible a través de una configuración manual, se ha puesto en evidencia que los equipos mismos auto aprenden de cada trabajo que han realizado y seleccionan un acto correcto frente a las diferentes situaciones sin intervención de los humanos. Es decir, con la integración del programa analítico, las máquinas están llegando a tener capacidad en la toma de decisiones ante un entorno complejo.” (Blasco, 2018, p.6).

En la figura 9 se observa la demanda de la robótica en los diferentes sectores industrial, siendo el de mayor demanda la industria que se dedica a los componentes automovilísticos.

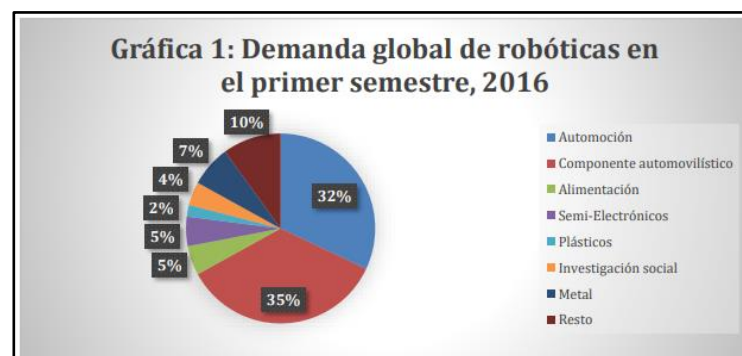


Figura 9. Demanda de los robots industriales en el año 2016.

Fuente: (Blasco, 2018, p.6)

Es por ello, que hoy por hoy el avance en robots antropomorfos y sus aplicaciones han avanzado exponencialmente. Para ahondar más el tema, se define la automatización y los robots industriales, mostrando las partes de este último.

2.2.2.1. Automatización

La automatización en el contexto de robótica industrial, tiene la siguiente definición para García (1999):

“La automatización de un proceso industrial, (maquina, conjunto o equipo industrial) consiste en la incorporación al mismo de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren su control y buen comportamiento. (...) Uno de los objetivos deseables es que el automatismo sea capaz de reaccionar frente a las situaciones previstas de antemano y también que, frente a imponderables, tenga como objeto situar al proceso y a los recursos humanos que lo asisten en la situación más favorable.” (p.12)

A continuación, también se explica sobre la automatización dependiendo de la adaptación de los sistemas automatizados a procesos variables en las estrategias de producción, la automatización según lo antes mencionado se divide en dos:

a) Automatización rígida: de acuerdo Schey (2002) “... se refiere a métodos de control que requieren un esfuerzo considerable para reprogramar las diferentes partes u operaciones” (p.34). Así mismo cambiar o aumentar elementos o procesos de automatización de forma rígida podría significar costos elevados de diseño e implementación. Un claro ejemplo se encuentra en la figura 10, es una automatización de empackado, en este caso si se desea cambiar la ruta por donde se transporta el material (en este caso botellas), el costo de cambiar la ruta saldría muy costoso y el deseo de diseñar o

implementar algo sobre esta línea, llevaría a un profundo análisis para no modificar ningún parámetro del sistema automatización.



Figura 10. Automatización rígida.

Fuente: (El Empaque más Conversión, 2015, parr.1)

b) Automatización flexible: así mismo Schey (2002), menciona que la automatización flexible "...implica agilidad de reprogramación, con frecuencia sólo cambiando el software..." (p.34). En la figura 11 podemos observar que, en ese pequeño proceso, el objeto o producto puede ser variable sin modificar la estrategia de producción adicionalmente, si se desea reordenar los equipos, no habría ningún problema de la modificación, tan solo el análisis correspondiente para agregar nuevas tareas de automatización.



Figura 11. Automatización flexible.

Fuente: (T-Drill, 2012, parr.6)

Por otra parte, también según Seika Automation (2019), la automatización industrial se puede jerarquizar y dividirlos en niveles según la tecnología que utiliza. Se mencionarán a continuación:

- a) Primer nivel: En este nivel se incluye los sensores, actuadores, temporizadores, contadores y toda maquinaria, que se utilice en la producción; que tendrá posteriormente su automatización.
- b) Segundo nivel: Aquí se encuentran los PLC's, PC's y sistemas de control, con el cual se empieza a automatizar el primer nivel. En este nivel se encuentra también las redes de comunicación como protocolos de comunicación.
- c) Tercer nivel: Es el nivel donde se puede supervisar los procesos automatizados y se obtiene información en tiempo real; aquí se encuentra el SCADA. En este nivel se utilizan servidores de manera que se resguarde la información obtenida de los procesos automatizados.
- d) Cuarto nivel: Se encuentran los sistemas integradores, estamos hablando de los MES (Manufacturing Execution System) se encarga de controlar y supervisar la producción total de toda una planta, brindando de este modo la información para la toma de decisiones, agilizando procesos y reduciendo costos de producción.
- e) Quinto nivel: Encabezado por los sistemas ERP (Enterprise Resource Planning), es un sistema que controla los recursos para una mejor planificación. Su nivel operativo radicó más en la interpretación y análisis. Un ejemplo es SAP u ORACLE. Se muestra en la figura 12 los niveles descritos.

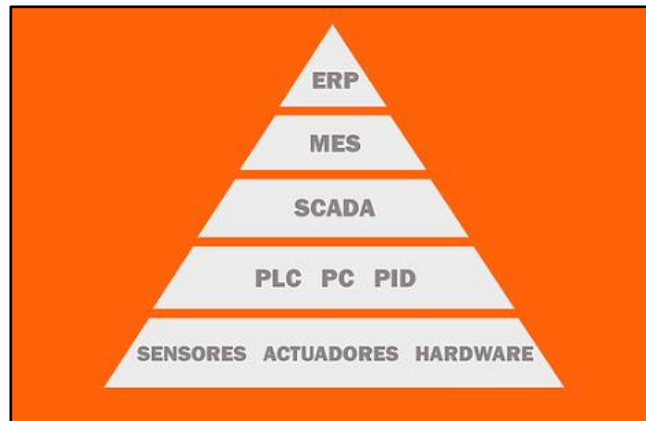


Figura 12. Pirámide de los 5 niveles de automatización

Fuente: (Seika Web, 2019, parr.1)

2.2.2.2. Robots articulados

Los robots articulados o antropomorfos son lo último en desarrollo tecnológico para el avance de la industria, según Schey (2002) menciona que "Robot Institute of America define a los robots como "manipuladores de funciones múltiples programables diseñados para mover material, partes, herramientas o dispositivos especializados mediante movimientos variables, que están programados para la realización de una variedad de tarea..." (918), así estos robots tienen lo necesario, versatilidad y reprogramación de tareas, por lo cual existe una extensa gama de robots con diferentes características, para diferentes tareas, tenemos desde robots con fines médicos, como fines de soldadura, otros tienen fines de selección y otros de paletizado. Por ello es importante saber qué clase de robot escoger y cuál es la aplicación en la que se va a utilizar.

2.2.2.3. Partes del robot industrial

2.2.2.3.1. Parte mecánica

La parte mecánica es esencial, para definir la robustez del robot y la tarea que realizará, ya que es la parte que soporta y traslada la carga del efector final. Para Torró (2015) incluye un concepto en la parte mecánica, "Un robot está constituido por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que

permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos.” (p.23). También se debe saber que todo el robot trabaja con algoritmos que le permiten mover todas las articulaciones a la vez.

2.2.2.3.2. Articulaciones

Las articulaciones son la parte del cuerpo del robot que une y permite la movilización de todo el robot, además describe el área de trabajo y los alcances máximos y mínimos de área de trabajo. Una definición dada por Reay (2014) “Así pues un manipulador se genera a partir de una secuencia de eslabones y combinaciones de juntas. Los eslabones son los miembros rígidos conectando las juntas o ejes.” (p.14). Un ejemplo se muestra en la figura 13, se observa que un robot de la marca Kuka, ésta cuenta con 7 ejes para mover sus articulaciones.

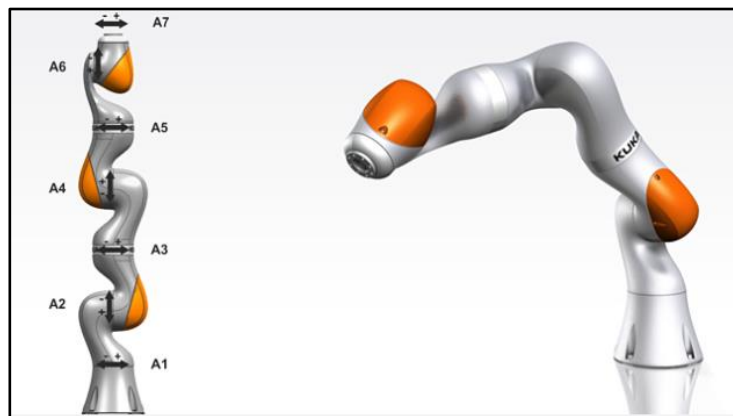


Figura 13. Robot de 7 ejes.

Fuente: (Tecno plc, 2016, parr.2)

2.2.2.3.3. Número de ejes

Indica el número de grados de libertad en el que se moverá el robot, una definición apropiada viene dada por Aguilar (2011) “Cada uno de los movimientos independientes que puede realizar una articulación a la anterior se denomina grado de libertad” (p.29), ello también incluye los grados máximos de rotación en

cada punto, es importante tener cuidado en esta parte, ya que su mala programación puede conllevar a roturas físicas en el cuerpo del robot articulado.

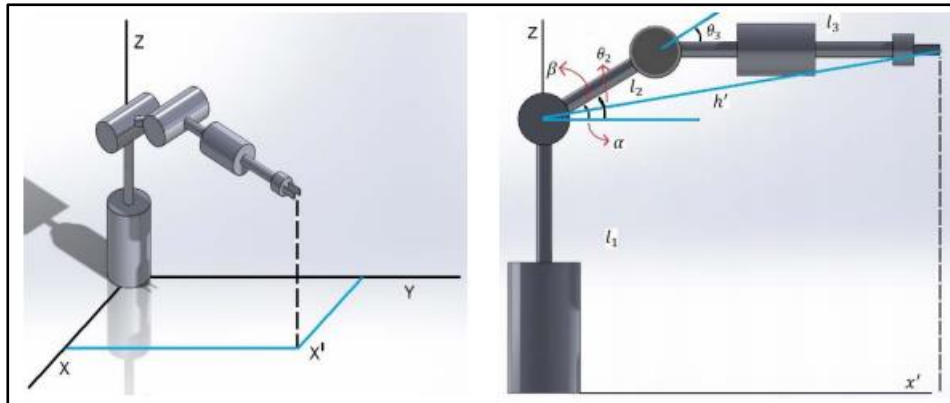


Figura 14. Robot de 4 grados de libertad.

Fuente: (Buitrago y Ramos, 2015, p.125)

2.2.2.3.4. Configuraciones del robot industrial

Para numerosos ingenieros y especialistas de robótica industrial, la configuración del robot respecto a sus eslabones y grados de libertad se pueden definir de la siguiente manera.

2.2.2.3.4.1.1. Configuración cartesiana

Para Torr (2015) el robot cartesiano tiene la siguiente connotación, “Posee tres movimientos lineales, es decir, tiene tres grados de libertad, los cuales corresponde a los movimientos localizados en los ejes X, Y y Z.” (p.18). De esta forma el robot puede distribuir su área de trabajo como se muestra en la figura 15, colocándose a la izquierda el bosquejo del modelo teórico y a la derecha el robot industrial Campetella de 3 ejes.



Figura 15. Configuración cartesiana.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.3.4.1.2. Configuración cilíndrica

Otra configuración dada por García M., Álvarez, J. y Cava, D. (2003) menciona lo siguiente “El robot de configuración cilíndrica está diseñado para ejecutar los movimientos conocidos como interpolación lineal e interpolación por articulación.” (p.16). Eso quiere decir que los movimientos están compuestos por un movimiento rotacional y dos movimientos lineales. En la figura 16 se observa la izquierda la configuración teórica y a la derecha un robot industrial con configuración cilíndrica.

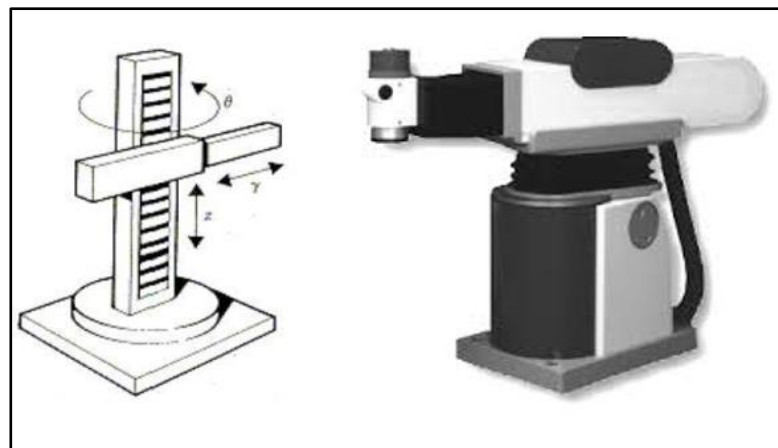


Figura 16. Configuración cilíndrica.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.3.4.1.3. Configuración polar

Otra configuración, es la polar, según Torr  (2015) define “Este robot utiliza la interpolación por articulación para moverse en sus dos primeras articulaciones y a interpolación lineal para la extensión y retracción.” Indica que el robot está compuesto por dos movimientos rotacionales y uno lineal, contrario a la configuración cilíndrica, en la figura 17 se muestra a la izquierda el bosquejo teórico del robot, a la derecha el robot Fanuc L-1000.

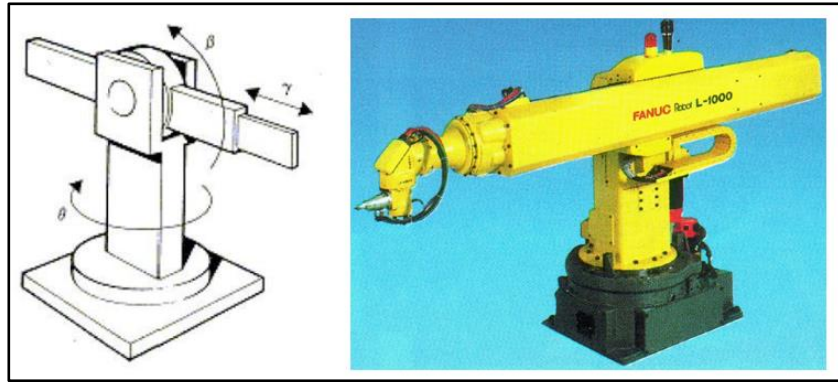


Figura 17. Configuración polar.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.3.4.1.4. Configuración angular

La configuración más conocida actualmente es la configuración angular, una definición por García M., Álvarez, J. y Cava, D. (2003) es "... se puede realizar el movimiento llamado interpolación lineal (para lo cual requiere mover simultáneamente dos o tres de sus articulaciones), el movimiento natural es el de interpolación por articulación, tanto rotacional como angular..." (p.17). Esto quiere decir que el robot amplía su lugar de trabajo realizando movimientos simultáneos en sus ejes con la finalidad de llegar a los puntos deseados. Los robots modernos se basan en esta configuración. En la figura 18, se muestra a la izquierda su representación teórica y a la derecha el robot industrial ABB.

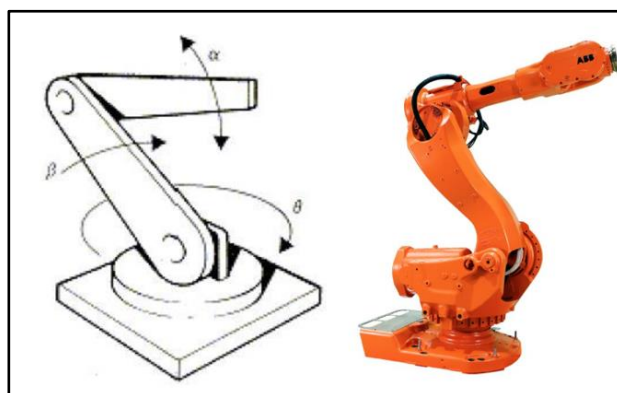


Figura 18. Configuración angular.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.3.5. Efector final

El efector final es la parte donde se incluirá la herramienta de trabajo del robot, y es de suma importancia pues define el trabajo a realizar del robot. Así mismo Reay (2014) define “Los efectores finales, también conocidos como grippers, son un puente entre el controlador del brazo robot y el mundo que lo rodea. En robótica industrial el término efector final se utiliza para describir la mano o herramienta que está unida a la muñeca del manipulador (brazo robot).” (p.18). Por ello la selección del efector final determina el trabajo final del robot, en la figura 19 se observa el sistema de cambio de herramientas Tool-Changer 200, que es un acoplamiento de una herramienta al efector final.

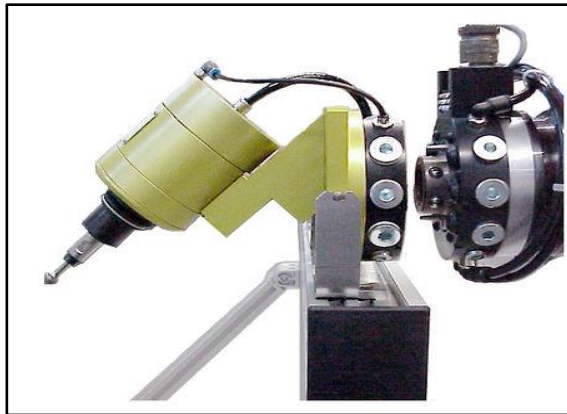


Figura 19. Acoplamiento de una herramienta al efector final

Fuente: (AMTRU Business, 2013, parr.1)

2.2.2.3.5.1.1. Tipos de efector final

Para Bartolome, Alvarés y Cava (2003) “La razón por la que existen distintos tipos de efectores finales es, precisamente, por las funciones que realizan. Los diversos tipos podemos dividirlos en dos grandes categorías: pinzas y herramientas” (p.12). Entre los efectores finales más usuales, tenemos los efectores tipo herramienta de soldadura, como se muestra en la figura 20, también los de succión y las pinzas o llamado gripper. El material del gripper es importante ya que la rotura de esta significa el colapso de la tarea o producto que se esté llevando en ese instante, por ello es adecuado saber qué tipo de

gripper y cómo es que se efectuará el cierre de este, ya que existen dos tipos, por cierre mecánico y por cierre neumático.



Figura 20. Robot Fanuc para soldadura por arco.

Fuente: (Fanuc, 2018, parr.1)

2.2.2.3.5.1.2. Efecto neumático

Un gripper neumático te da la fiabilidad de tener alta presión en el objeto que se quiere sujetar o mover, un complemento a la definición es dada por Suárez (2016), indica lo siguiente:

“Utilizan la energía almacenada en la presión de un gas que actúa como fluido para producir un determinado movimiento o fuerza cuando se expande o se libera dentro de una cámara diseñada para aprovechar dicho movimiento que puede ser tanto lineal como rotativo dependiendo del tipo de actuador y de su aplicación” (p.21).

Así de esta forma, la presión del gas varía respecto a las propiedades del objeto a agarrar. En la industria es muy usual ver este tipo de gripper ya que se utilizan los efectos de la alta presión para la buena sujeción del objeto, un tipo de gripper es como se muestra en la figura 21.

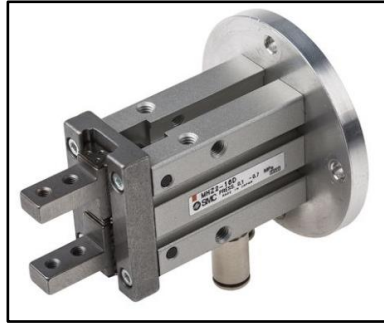


Figura 21. Gripper neumático paralelo.

Fuente: (Allied Electronic & Automation, 2016, parr.1)

2.2.2.4. Sistema del controlador del robot industrial

El controlador del robot, según Suárez (2003), "... como su nombre lo indica, es el que controla cada uno de los movimientos del manipulador y guarda sus posiciones. El controlador recibe y envía señales a otras máquinas-herramientas (por medio de señales de entrada/salida) y almacena programas" (p.10). De esta forma el controlador es la parte donde se efectuarán los cambios y posicionar al robot en los puntos deseados. También esta parte cuenta con entradas y salidas digitales y analógicas para una mayor automatización en celdas robóticas. Esto quiere decir que el robot puede trabajar con sensores y realizar actividades o tareas con otros robots en paralelo. En esta parte también se encuentra la comunicación robot-maquina. Se observa en la figura 22 el controlador para robots Fanuc R-30ib plus.

2.2.2.5. Sistema de potencia

En la parte donde se encuentran la alimentación del robot, de esta forma Ospina (2015) menciona "Las etapas de potencia tienen como misión proveer de la potencia necesaria al sistema para mover el manipulador final del brazo robótico" (p. 87). Entonces el sistema de potencia brinda la energía y genera la alimentación de corriente necesaria para el torque de los motores o servomotores eléctricos que se encuentran ubicados dentro de los robots.



Figura 22. Equipo Fanuc con la parte de control y potencia.

Fuente: (Fanuc Web, 2013, parr.1)

2.2.3. Visión artificial

“La visión artificial consiste en la captación de imágenes en línea mediante cámaras basadas en matrices de sensores sensibles a la luz (...), el posterior tratamiento de las mismas mediante técnicas de análisis de imagen y la actuación sobre el proceso (control de producto) o el producto (control de calidad).” (Porrás, p.1).

El desarrollo de la tecnología en este campo es creciente, por ello el desarrollo de sus aplicaciones en el sector industrial va incrementando en la demanda de este para su uso.

2.2.3.1. Procesamiento de imágenes

2.2.3.2. Adquisición de imágenes

Tenemos a Basantes y Banda (2009) “Imágenes estáticas o una secuencia de imágenes) empleando dispositivos adecuados: Usualmente en esta etapa se emplean instrumentos de medición, sistemas computarizados de adquisición y almacenamiento de información.” (p.1). La adquisición de imágenes es la parte fundamental de la visión artificial, ya que ésta toma cientos de muestras por segundo para poder ser procesadas dentro del computador.

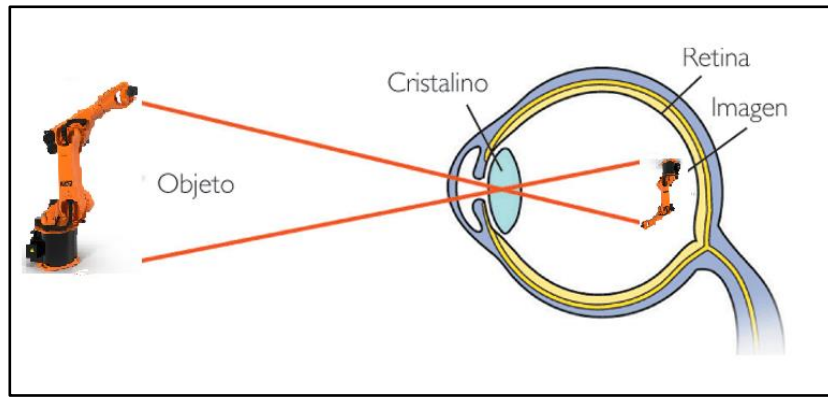


Figura 23. El ojo humano visualiza un objeto en 3D

Fuente: Elaboración propia

2.2.3.3. Preprocesamiento de la Imagen

Es el proceso en cual, la imagen una vez adquirida es transformada a una imagen más acorde a objeto a analizar, Sobrado (2002) menciona “la transformación de la imagen original en otra imagen en la cual hayan sido eliminados los problemas de ruido granular de cuantización o de iluminación espacialmente variable.” (p.22) en esta parte se ejecutan la transformación de la imagen a escala de grises, así como el empleo de filtros para la eliminación de ruidos.

2.2.3.3.1. Conversión de imagen a escala de grises

Una imagen digital está compuesta por una combinación de tres planos de tonos primarios, rojo, verde y azul; tal como se muestra en la figura 24.

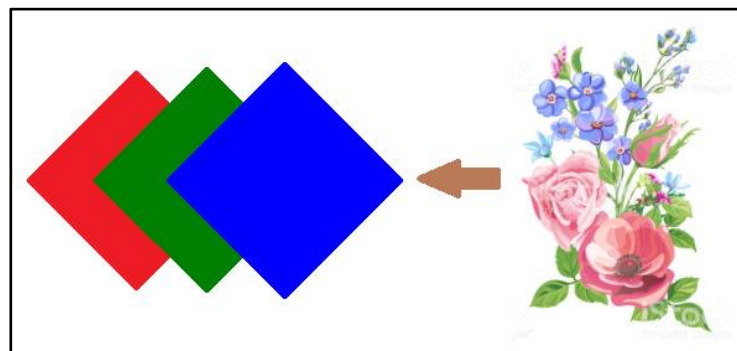


Figura 24. Descomposición de la imagen en RGB.

Fuente: Elaboración propia.

En este proceso la imagen $I_{(x,y)}$ se convierte a una escala de grises a través de la siguiente ecuación determinada por el servicio de Matlab:

$$\text{ImagenGris} = 0.2989 * I_{(x,y)}R + 0.5870 * I_{(x,y)}G + 0.1140 * I_{(x,y)}B \dots (4)$$

Dónde: R= pertenece al plano rojo

G= pertenece al plano verde

B= pertenece al plano azul

Generando así, una nueva imagen con pixeles de valores entre 0 y 255. Un ejemplo se muestra en la figura 25.

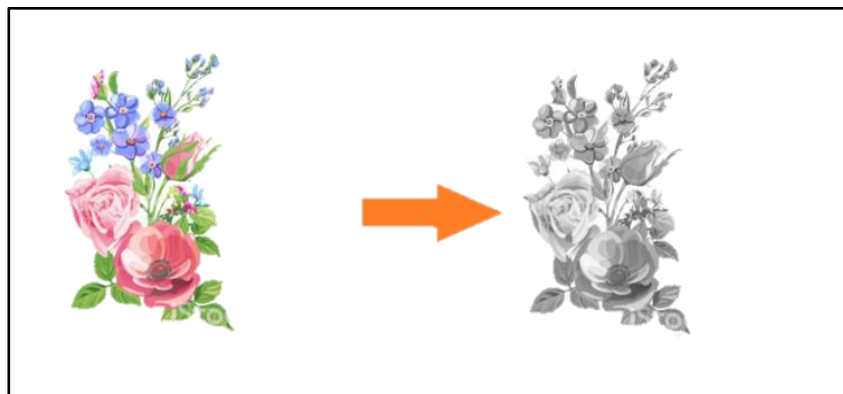


Figura 25. Imagen en escala de grises

Fuente: Elaboración propia

2.2.3.3.2. Histograma de una imagen

Corresponde a una representación de intensidades sea en cualquier plano de color de la imagen, Cuevas, Zaldívar y Pérez (2010) cita lo siguiente: “Cada valor observado de un histograma describe la correspondiente frecuencia de los valores de intensidad en la imagen, es por ello que el histograma puede ser considerado una distribución de frecuencias de los valores de intensidad” (p.87). La importancia del histograma radica en la observación del valor intensidad del objeto que se desea estudiar.

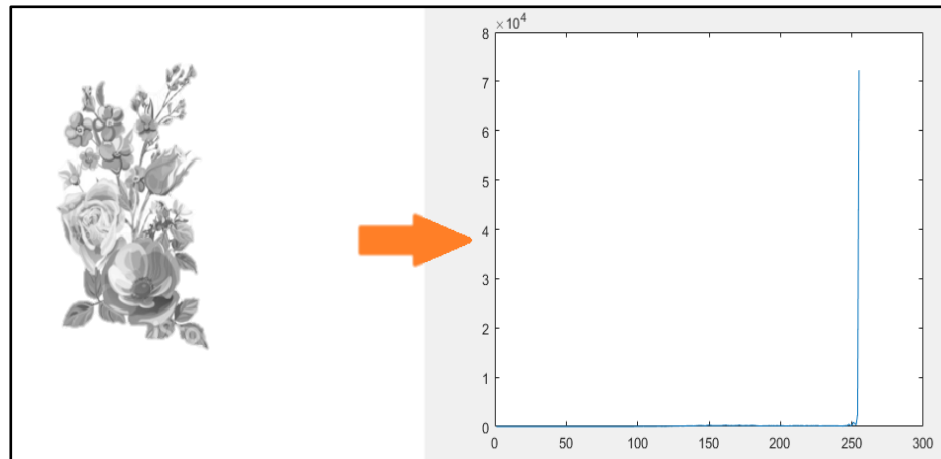


Figura 26. Histograma de una imagen

Fuente: Elaboración propia

2.2.3.3.3. Transformación a una imagen binaria

Es la imagen que una se separa en 2 bandas, negro o blanco, dependiendo del umbral que se escoge mediante el histograma o de manera automática, Cuevas, Zaldívar y Pérez (2010) menciona que “Una imagen binaria (...) es un arreglo que solo contiene unos y ceros. Estos ceros y unos son especiales porque no implican valores numéricos sino más bien banderas que indican el estado falso (0) o verdadero (1)” (p.35). De esta forma la imagen monocroma servirá para poder diferenciar objetos o hacer códigos de cadenas para contornos.

$$\text{ImagenGris}_{(x,y)} > \text{Umbral} \rightarrow \text{ImagenBinaria}_{(x,y)} = 0 \dots (5)$$

$$\text{ImagenGris}_{(x,y)} \leq \text{Umbral} \rightarrow \text{ImagenBinaria}_{(x,y)} = 1 \dots (6)$$

Un ejemplo se encuentra en la figura 27, después de observar el histograma se analiza y se parametriza la imagen con el umbral deseado, transformado esta imagen en una imagen binaria.

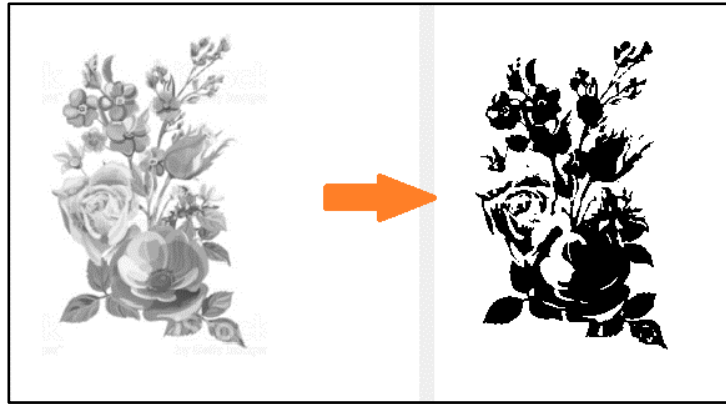


Figura 27. Imagen binaria

Fuente: Elaboración propia

2.2.3.4. Segmentación

Es el proceso en el cual la imagen de interés es analizada para extraer los objetos que más se requieren estudiar, según Viera (2017) menciona que “La segmentación se puede definir como la etapa donde la imagen de entrada se separa en cada una de las piezas que la integran, siendo cada una de ellas homogéneas respecto a cierto atributo como textura, intensidad o color.” (p.44). Entonces se necesita la aplicación de algoritmos robustos que puedan identificar los objetos específicos que se quieren estudiar ante cualquier perturbación del ambiente.

2.2.3.4.1. Binarización automática

La propuesta de un umbral automático se debe a que la gran variación de luz que se ubica en el entorno y al objeto dentro del mismo entorno, es por ello Trespaderne y de la Fuente (2012) propone

“para un histograma bimodal es el propuesto por Otsu (1979). La idea es calcular iterativamente el valor de nivel de gris medio y su varianza para cada uno de los dos modos del histograma, situados entre 0 y k y el otro entre k y G calculando además la suma ponderada de la varianza. El algoritmo escoge como umbral optimo el valor para el que esa suma ponderada es mínima” (p.65).

En un abreve descripción del método de Otsu, Parra (2005) menciona “la imagen contiene N pixeles cuyos niveles de gris se encuentran entre 1 y L. (...) f_i es la probabilidad de ocurrencia del nivel de gris” (p.2).

$$p_i = \frac{f_i}{N} \dots (7)$$

Parra (2005) “... la distribución de probabilidad de los niveles de gris para las dos clases es:” (p.2)

$$C_1 = \frac{p_1}{\omega_1(t)}, \dots, \frac{p_t}{\omega_1(t)} \dots (8)$$

$$C_2 = \frac{p_{t+1}}{\omega_2(t)}, \frac{p_{t+2}}{\omega_2(t)}, \dots, \frac{p_L}{\omega_2(t)} \dots (9)$$

$$\omega_1(t) = \sum_{i=1}^t p_i \quad \omega_2(t) = \sum_{i=t+1}^L p_i \dots (10)$$

Donde: C_1 : niveles de gris [1, ..., t]

C_2 : niveles de gris [t+1, ..., L]

De la misma forma, la media para ambas clases

$$\mu_1 = \sum_{i=1}^t \frac{i \cdot p_i}{\omega_1(t)} \quad \mu_2 = \sum_{i=t+1}^L \frac{i \cdot p_i}{\omega_2(t)} \dots (11)$$

Entonces la media total de intensidad, es

$$\mu_T = \mu_1 \cdot \omega_1 + \mu_2 \cdot \omega_2 \dots (12)$$

$$\omega_1 + \omega_2 = 1 \dots (13)$$

Parra (2005) “Usando análisis discriminante, Otsu definió la variancia entre clases de una imagen umbralizada” (p.3), la formula se describe a continuación.

$$\sigma_B^2 = \omega_1 \cdot (\mu_1 - \mu_T)^2 + \omega_2 \cdot (\mu_2 - \mu_T)^2 \dots (14)$$

Parra (2005) “Para una umbralización de dos niveles, Otsu verifico que el umbral optimo t^* se elige de manera que σ_B^2 sea máxima” (p.3)

$$t^* = \text{Max}_t \{ \sigma_B^2(t) \} \dots (15)$$

2.2.3.4.2. Operaciones morfológicas

Las operaciones morfológicas permiten rellenar pixeles no enlazados o eliminar regiones de la imagen que pueden ser ruido originado por el entorno, Sobrado (2002) menciona que “son métodos para procesar imágenes binarias basado sobre formas. (...) El valor de cada pixel en la imagen de salida está basado sobre el correspondiente pixel de entrada y sus vecinos.” (p.27). Las operaciones morfológicas a estudiar son dilatación y erosión.

2.2.3.4.2.1. Dilatación

Es la operación morfológica que rellena con pixeles (matriz de pixeles) en una imagen carente de una buena binarización, para Trespaderne y de la Fuente (2012) “... el elemento estructurador es desplazado por toda la imagen. (...) cada vez que coincida con un pixel de valor 1 de la imagen original se activan en la imagen dilatada todos los pixeles debajo de él...” (p.100). Un ejemplo se encuentra en la figura 28, donde el elemento estructurador aumenta el número de pixeles dependiendo si el pixel en la imagen original se encuentra activo, rellenando de esta forma la imagen original.

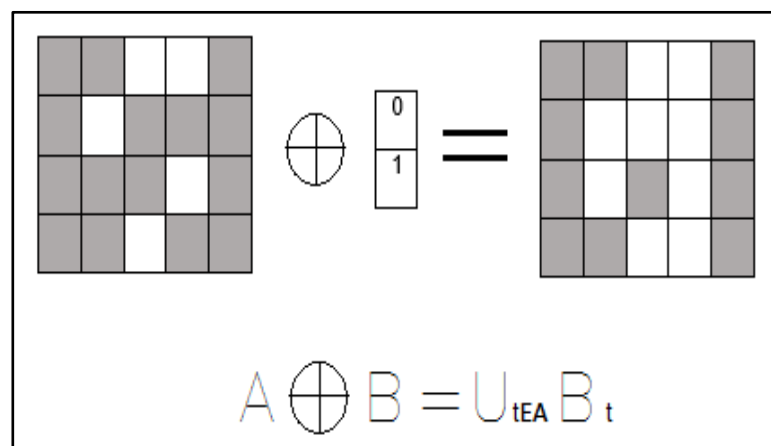


Figura 28. Dilatación.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3.4.2.2. Erosión

Es la contraparte de la operación morfológica de dilatación, para Trespaderne y de la Fuente (2012) "... la erosión origina una disminución del número de píxeles activos respecto a la imagen original. (...) la cantidad y la disminución en la que se produce esta disminución depende el elemento estructurador elegido ..." (p. 103). Un ejemplo se encuentra en la figura 29, donde el elemento estructurador resta los píxeles de la imagen original.

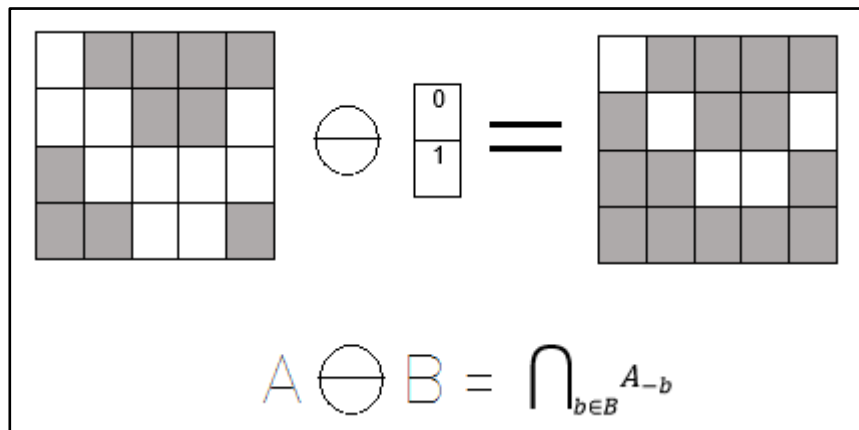


Figura 29. Erosión.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3.4.3. Etiquetado

El proceso de etiquetado permite diferenciar la cantidad de objetos presentes en la imagen mediante una identificación de etiqueta que consta de un número al que pertenece dicho objeto, Trespaderne y de la Fuente (2012) "si en la imagen aparecen varias regiones, no se podrá obtener, por ejemplo, su área o centro de gravedad hasta que no estén identificadas de forma individual" (p.70). La efectividad del etiquetado depende de la adyacencia al píxel que se desee estudiar, se elige la adyacencia, se puede trabajar con una adyacencia de 4 (vecindad de 4) o una adyacencia de 8 (vecindad de 8), como se muestra en la figura 30.

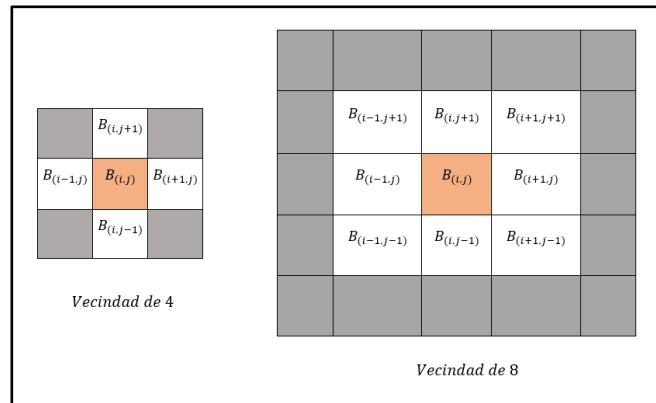


Figura 30. Vecindad de 4 y 8.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3.4.4. Filtro de la mediana

Los filtros permiten eliminar ruido generado por el ambiente, de esta forma el filtro de la mediana tiene el siguiente concepto atribuido por Cuevas, Zaldívar y Pérez (2010) indicando "... permite eliminar artefactos y estructuras no deseadas en la imagen sin afectar significativamente a los bordes..." (p.158). Este filtro garantiza una buena respuesta para cuando la tarea específica sea la detección de objetos geométricos.

2.2.3.4.5. Método de Canny

El método de Canny es uno de los más populares en el desarrollo de detección de bordes, según Cuevas, Zaldívar y Pérez (2010) menciona lo siguiente: "Este método se basa en la aplicación de una serie de filtros en direcciones y resoluciones diferentes, los cuales al final son combinados en un resultado único" (p.249). La detección de bordes es esencial para el desarrollo, ya que podemos diferenciar los objetos de estudio.

2.2.3.5. Descripción

La descripción de la imagen depende de la característica principal que se desea extraer, para Sobrado (2002) "Esta descripción no es otra cosa que un modelo que representa las características de la imagen de relevancia para los fines del

Sistema de Visión Artificial específicos” (p.32). De esta forma la descripción debe ser extraída de los cientos de imágenes.

2.2.3.5.1. Tamaño

El tamaño de una imagen está relacionado con el número de pixeles determinado por el objeto que se requiera estudiar, en este caso se trabaja pixel por pixel. Para Trespaderne y de la Fuente (2012) menciona que “este parámetro también se le denomina de orden cero. El tamaño de un objeto en la imagen es invariante ante la rotación y traslación, es decir, no depende la posición en la que aparezca el objeto” (p.84). Los autores anteriores describen la siguiente fórmula:

$$Area = \sum_{x=1}^{filas} \sum_{y=1}^{columnas} B_{(x,y)} \dots (16)$$

2.2.3.5.2. Centro de gravedad

Para poder obtener la posición del objeto dentro de la imagen, el centro de gravedad cumple el rol de hallar las coordenadas del objeto de interés, para ello esto se considera de masa unitaria. Así tenemos la definición de Trespaderne y de la Fuente (2012) que menciona “el centro de gravedad es poco sensible al ruido y resulta muy útil en la aprehensión de objetos con manipuladores (...) son momentos de primer orden divididos por el área” (p.84). De esta forma se obtienen las siguientes fórmulas para hallar la ordenada y la abscisa.

$$x_g = \frac{\sum_{x=1}^f \sum_{y=1}^c x \cdot B_{(x,y)}}{Area} \dots (17)$$

$$y_g = \frac{\sum_{x=1}^f \sum_{y=1}^c y \cdot B_{(x,y)}}{Area} \dots (18)$$

2.2.3.5.3. Orientación

La orientación de un objeto es importante cuando se desea saber no solo su ubicación en el plano de la imagen, si no también saber el ángulo de inclinación con el cual se pueda sujetar el objeto. Trespaderne y de la Fuente (2012) describe que “puede determinarse mediante el cálculo del eje respecto al cual el

momento de inercia es mínimo, (...) será la recta $Ax+Bx+C=0$ tal que la suma de las distancias al cuadrado entre los pixeles del objeto y dicha línea es mínima” (p.85). Entonces realizando el procedimiento respectivo se hallan los tres momentos de segundo orden (p.86), las cuales son mencionadas a continuación.

$$I_{xx} = \sum_{x=1}^{filas} \sum_{y=1}^{columnas} (x_i - x_g)^2 \cdot B(x, y) = \sum_{i=1}^N (x_i - x_g)^2 \dots (19)$$

$$I_{xy} = \sum_{x=1}^{filas} \sum_{y=1}^{columnas} (x_i - x_g)(y_i - y_g) \cdot B(x, y) = \sum_{i=1}^N (x_i - x_g)(y_i - y_g) \dots (20)$$

$$I_{yy} = \sum_{x=1}^{filas} \sum_{y=1}^{columnas} (y_i - y_g)^2 \cdot B(x, y) = \sum_{i=1}^N (y_i - y_g)^2 \dots (21)$$

De las fórmulas anteriores, se lleva a cabo una serie de transformaciones y resoluciones mencionadas por Trespaderne y de la Fuente (2012) indica “deseamos encontrar la recta que minimiza el sumatorio de las distancias al cuadrado” (p.86), concluyendo en la siguiente formula.

$$\tan(2\theta) = \frac{I_{xy}}{I_{xx} - I_{yy}} \dots (22)$$

Despejando para poder hallar el ángulo de orientación.

$$\theta = \arctan\left(\frac{I_{xy}}{I_{xx} - I_{yy}}\right) \dots (23)$$

2.2.3.5.4. Rotación de ejes

La rotación de ejes es muy importante para la aplicación en planos, donde el punto se mueve respecto a un nuevo origen, por ello Fuentes (2002) menciona:

“En el giro de ejes existe una relación entre las coordenadas de un punto (x, y) y las coordenadas del mismo punto (x', y') referido al nuevo sistema de ejes coordenados; con el objeto de obtener dicha relación, llamaremos Φ a la magnitud del ángulo medido en sentido positivo desde la parte positiva del eje x, hasta la parte positiva del nuevo eje x'” (pag.1).

Fuentes (2002) demuestra las siguientes fórmulas (pag2).

$$x = x' \cos(\beta) - y' \sin(\beta) \dots (24)$$

$$y = y' \cos(\beta) + x' \sin(\beta) \dots (25)$$

Como se muestra en la figura 31, donde el punto P se encuentra en el plano cartesiano "X Y", luego este sistema rota un ángulo β positivo, sentido anti horario, entonces se obtiene un nuevo punto P' con referencia en el nuevo eje del plano "X' Y'".

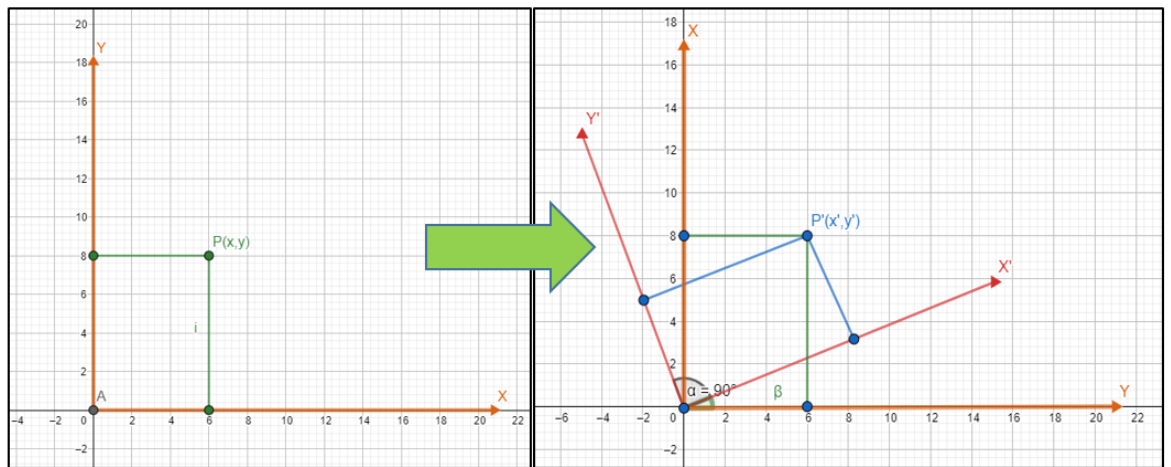


Figura 31. Rotación de ejes.

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso, en el que se desee hallar los puntos P partiendo del punto P' en el plano "X' Y'"; se realiza el sistema de ecuaciones anterior y se obtiene por derivación lo siguiente.

$$x' = x \cos(\beta) + y \sin(\beta) \dots (26)$$

$$y' = y \cos(\beta) - x \sin(\beta) \dots (27)$$

2.2.3.6. Software de procesamiento de imágenes

Los programas de tratamientos de imágenes son variados, y depende la capacidad del computador con el que se cuenta. También depende el uso de lenguaje en el cual se tenga más experiencia y en cual microcontrolador se vaya a colocar el programa en sí.

2.2.3.6.1. Software de Matlab

El software de Matlab es uno de los más conocidos en el sector de ingeniería por sus diversos usos, de control y procesamiento de imágenes por ello, Guanín (2015) describe lo siguiente “es un lenguaje de alto nivel y de ambiente interactivo, creado para realizar cálculos matemáticos con mayor velocidad que los programas comunes.” (p.75). Así mismo su diversidad de librerías permite que este software procese imágenes y de igual forma poder enviar y recibir datos a otros periféricos; convirtiendo a este software en una herramienta con mucho potencial para desarrollo de proyectos.

2.2.4. Sensores y actuadores

2.2.4.1. Sensores

Para Armando (2005) los sensores tienen el siguiente concepto, “En este caso se trata de dispositivos en los cuales se relaciona la reactancia con una variable física específica. Por lo general no requieren de contacto físico directo con el sistema a medir.” (p.30) Esto quiere decir que el sensor es capaz de medir cualquier variable sin necesidad del contacto con el objeto a sensor. La importancia de los sensores en la industria es alta, por ende, las investigaciones en sensores para diferentes ambientes y diferentes variables de medición, han hecho que los sensores tengan un alta gama de variedad, por ello nos vamos a concentrar en dos sensores de proximidad, inductivo y capacitivo.

2.2.4.1.1. Sensores de proximidad inductivos

La definición de Amador (2015) acerca de este tema es “Los sensores inductivos metálicos en áreas de exploración generalmente muy pequeñas. El diámetro del sensor es el factor decisivo para la distancia de conmutación, que con frecuencia es de solo unos cuantos milímetros.” (p.67). Estos sensores son usados para detección de objetos metálicos en la industria, son robustos, su accionar está

basado en el campo magnético generado por este sensor, como se muestra en la figura 32.

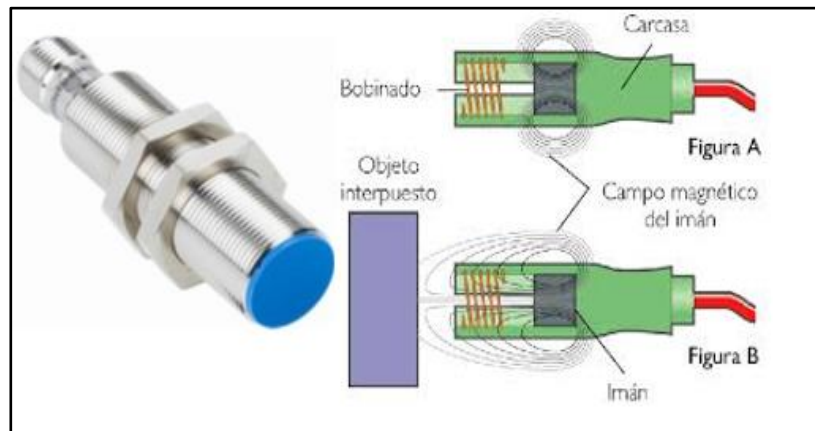


Figura 32. Sensor de proximidad inductivo.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.4.1.2. Sensores de proximidad capacitivos

Para Castro (2008), menciona que los sensores capacitivos “En este caso se trata de dispositivos en los cuales se relaciona la reactancia con una variable física específica. Por lo general no requieren de contacto físico directo con el sistema a medir.” (p.45). Este sensor industrial detecta cualquier otro no metal, como plásticos y madera o cartón, esencial para sistemas de producción en fajas.

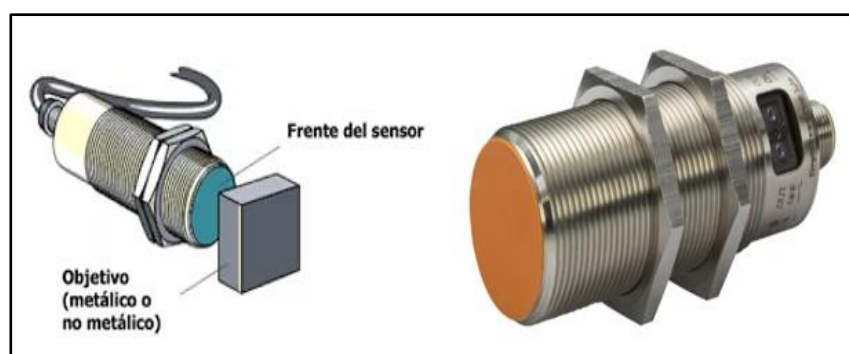


Figura 33. Sensor de proximidad capacitivo.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.4.2. Actuadores

Una definición de actuador es realizada por Rodríguez (2017) de la siguiente forma “Un actuador es un elemento mecánico capaz de transformar energía en movimiento con el fin de contribuir un proceso de automatización.” (p.16). Por ende, los actuadores son los elementos que mueven a las grandes industrias, por ello su variedad los ha clasificado en eléctricos, hidráulicos y neumáticos.

2.2.4.2.1. Actuadores Eléctricos

Los actuadores eléctricos según Rodríguez (2017) menciona “ya que la transmisión de la energía se realiza mediante un cable eléctrico y no requieren tuberías o fluidos. Tienen un mantenimiento bajo, pero por lo general son más costosos que los neumáticos” (p.26). Así mismo este tipo de motores debe ser acoplados con más engranajes si se desea aumentar el torque para el trabajo deseado. Un ejemplo de actuador eléctrico se encuentra en la figura 34.

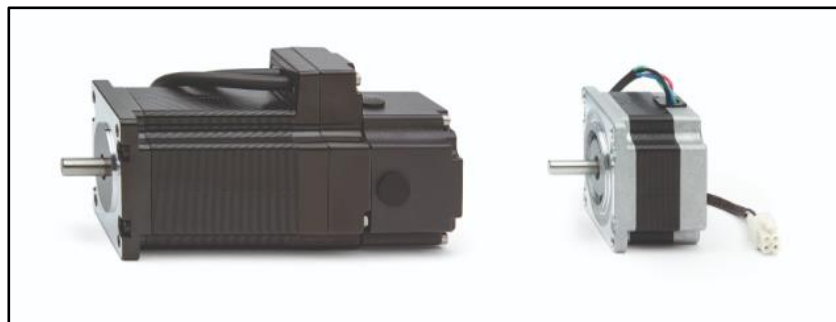


Figura 34. Motores eléctricos paso a paso.

Fuente (Esperia S.A., 2007, parr.1)

2.2.4.2.2. Actuadores Hidráulicos

Para Kuo (2010) “los actuadores hidráulicos tienen mayor ventaja sobre una masa significativa, sus rápidos arranques, paro e inversión; es por ello usan fluidos como aceite para el accionamiento de los pistones” (p.123). Su facilidad de uso en la industria tiene que ver más para procesos constantes que necesiten

de una mayor presión que no puede ser generado por un pistón neumático ni por un motor eléctrico.



Figura 35. Pistón Hidráulico de Telescópico de simple efecto

Fuente (Muncie Power Products, INC., 2019, parr.1)

2.2.4.2.3. Actuadores Neumáticos

Para Javier (2015) acerca de los actuadores neumáticos es que “Los componentes neumáticos aprovechan la energía acumulada en el aire presurizada. (...) Uno de ellos es la ausencia de peligro en la generación de chispas, ya que al ser el aire el portador de energía, no hay riesgo de explosiones.” (p.65). De esta forma se obtiene un buen torque aprovechando el fluido de aire suministrado por la compresora de aire. En la figura 36 se observa a la izquierda pistón o cilindro neumático de doble efecto, a la derecha cilindro neumático de simple efecto.



Figura 36. Pistones neumáticos.

Fuente: (Festo-Cilindros neumáticos, pag1, 2019)

Para poder hallar la fuerza del pistón se realiza la siguiente formula mencionada por Centeno (2017):

$$P_{int} = \frac{F}{A_{neta}} \dots (28)$$

Donde: P_{int} = presión interna en la cámara (cm^2)

F = Fuerza ejercida por el vástago (N)

A_{neta} =
Área neta del piston en el area de trabajo del cilindor (embolo)(bar) (p.30)

Para Manajarres (2009) “En la práctica es necesario conocer la fuerza real. Para determinarla hay que tener en cuenta los rozamientos. En condiciones normales de servicio (...) puede suponer que las fuerzas de rozamiento representan de 3 a un 20% de la fuerza calculada” (p.49). Por ello a continuación se muestra las fórmulas del cilindro de doble efecto en tracción y compresión.

Cilindro de doble efecto en el avance (compresión)

$$F_{teórica} = A * P - F_r \dots (29)$$

$$A = \left(\frac{D^2 * \pi}{4} \right)$$

Donde: P_{int} = presión interna en la cámara (bar)

F = Fuerza ejercida por el vástago (N)

A_{neta} = Área neta del pistón en el área de trabajo del cilindro (embolo)(cm^2)

F_r = Fuerza de rozamiento (3 – 20% de la fuerza calculada)

D = Diámetro del cilindro en (cm)

Cilindro de doble efecto en el retroceso (tracción)

$$F_{teórica} = A * P - F_r \dots (30)$$

$$A = \left(\frac{(D^2 - d^2) * \pi}{4} \right)$$

Dónde: d = Diámetro del cilindro en (cm)

Así mismo se debe tener consideraciones al pandeo, considera la siguiente formula:

$$\text{Longitud básica} = \text{Carrera actual} * \text{Factor de pandeo}$$

Donde el factor de pandeo se muestra en la tabla

Consumo de aire se debe tener la relación de compresión la cual es como continua:

$$e = \frac{101.3 + \text{Presión de trabajo}}{101.3} \dots (31)$$

El cálculo anterior se trabaja en kPa (referida al nivel del mar)

Así, el consumo de aire se estipula en la siguiente ecuación:

$$V = \left[s * \frac{D^2 * \pi}{4} + s * \frac{(D^2 - d^2) * \pi}{4} \right] * n * e \text{ (l/min)} \dots (32)$$

Donde: V : consumo de aire

e : Relación de compresión

D : es el diámetro del cilindro cm

d : es el diámetro del vástago cm

s : longitud de la carrera en cm

n : es el número de ciclos por minuto

Para la selección del tamaño de la válvula de un cilindro, se necesita el caudal máximo o pico, ya que determina la velocidad máxima del cilindro neumático.

$$Q = 1.41 * \left(\frac{\pi * D^2 * n * L * 2 * (P + 1.03)}{4 * 10^6} \right) \dots (33)$$

Dónde: Q : consumo de aire máximo

P : Presión de trabajo

D : es el diámetro del cilindro mm

l : longitud del vástago en mm

n : es el número de ciclos por minuto

2.2.4.2.4. Válvulas

Las válvulas para Manjarres (2009) son “elementos que comandan o regulan la puesta en marcha, el paro o la dirección, así como la presión o el caudal del fluido enviado por una bomba hidráulica o almacenado en un depósito” (p.56). Así su selección depende del actuador, como la función a la que va ser sometida el actuador o actuadores. En la figura 37 se muestra una válvula con accionamiento de rodillo, esta es una de las configuraciones de válvulas en la industria.



Figura 37. Válvula neumática de rodillo.

Fuente: (Fluid Control, 2019, parr.1)

CAPITULO 3

DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

3.1. Sistema de paletizado a través de procesamiento de imágenes

El desarrollo de la solución consta en un sistema de paletizado con procesamiento de imágenes a través de un robot industrial, como se muestra en la figura 38. El sistema tendrá el siguiente proceso de funcionamiento:

En la figura 38 (1) la visión de la cámara a punta a la cinta transportadora en tiempo real, adquiriendo la imagen de alguna caja que se coloque debajo de la cámara, para esto se recomienda una cámara que tenga 720 pixeles.

En la figura 38 (2), una vez adquirido la imagen por la cámara, se realiza el procesamiento de imágenes, para poder discriminar el tipo de caja que es. Luego el programa se enlaza al controlador del robot industrial, para esto el controlador del robot debe tener comunicación ethernet, así mismo el controlador del robot debe contar con entradas y salidas digitales, para la recepción y envío de señales a los diferentes periféricos que se van a utilizar.

En la figura 38 (3), el robot industrial, el cual debe tener las longitudes no máximas al área de trabajo, y que pueda llegar a los pallets, las dimensiones de este robot deben ser menores a 2.20 metros y mayor a 1.90 metros, y envía la orden de mover la caja al lugar de correspondencia, agarra la caja que se encuentra encima de la cinta transportadora, luego procede a dejar la caja, para ello tiene que validar la información del sensor si es que se encuentra un pallet en el área de paletizado. Una vez validado deja la caja según corresponda en las 3 posibles estaciones de pallet.

En la figura 38 (4), el robot a través de algoritmo apila las cajas sobre el pallet, cuando se llega al límite de cajas apiladas, un carro montacargas extrae el pallet lleno y deja sobre el área de paletizado un pallet nuevo.

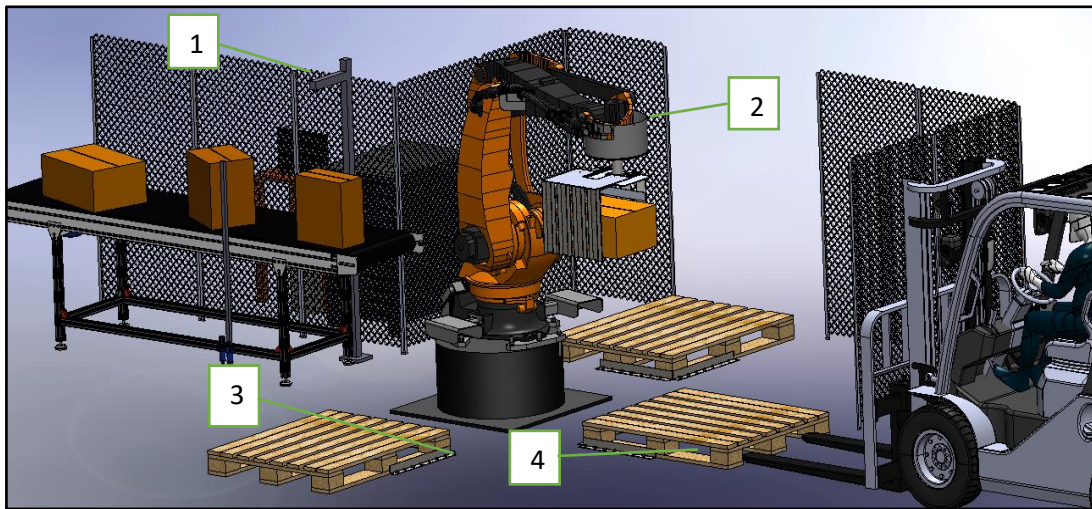


Figura 38. Sistema de paletizado con procesamiento de imágenes mediante robot industrial.

Fuente: (Elaboración propia. Solidwork)

3.2. Metodología de trabajo

La metodología de trabajo, se hizo respecto al análisis del entorno de trabajo tomando en cuenta ventajas y desventajas de cada solución mecatrónica, luego se realizó el análisis de fuerzas y parámetros correspondientes que se requieren para el sistema mecánico y electrónico, luego el diseño y simulación partiendo del análisis anterior y por último la selección de componentes, comparación , seleccionando los más óptimos para el sistema de paletizado planteado, todos los procedimientos se muestran en la figura 39.



Figura 39. Metodología de trabajo

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Análisis

El análisis de cada parte del sistema de paletizado podrá ayudar para el diseño de las máquinas, accesorios u objetos que utilizaremos dentro del sistema automatizado. Para ello se requiere el cálculo de los objetos de estudio y luego escoger y diferenciar que objetos o maquinarias tendrán mayor beneficio para la solución del problema.




3.3.1. Análisis del pallet

Para el análisis del palé se debe saber que por norma ISO 3676, el palet debe tener las siguientes medidas: lado 1 = 1 metro y el lado 2 = 1.20 metros. Así mismo soporta una carga máxima de 1500kg en carga dinámica y 4500 Kg con carga estática.

Entonces deduciendo de los lados, obtenemos 1.20 m^2 de área de trabajo. Luego aplicando la fórmula (1).

Donde L1 y L2 son los lados de la caja que se colocaran encima del palé.

Tabla 1. Características de las cajas

						
Lados de las cajas	L1 0.60m	L2 0.40m	L1 0.80m	L2 0.30m	L1 0.40m	L2 0.30m
Número de cajas	4		6		10	

Fuente: Elaboración propia

Para poder saber el número de cajas que se podrá colocar una encima de otra se sigue la formula (2).

La fuerza de compresión saldrá que resiste la caja es de 129.025 N.m.







El peso bruto por caja es de 20 kg exactos.

$$\text{El } n^{\circ} \text{Cajas Vertical} = \frac{129.025 \times 2}{20 + 1} = 12.28 \rightarrow N^{\circ} \text{Cajas vertical} = 12$$

Para determinar el número de cajas totales en el palé se utiliza la formula (3).

También se indica que por norma ISO la altura no puede sobrepasar los 1.35 metros de alto. Así que debido a que la altura es 1.35 metros, lo mejor es dividir las aturas de las cajas entre 1.35, para poder hallar las cajas máximas de altura. Se observa en la tabla 2 los parámetros de las cajas y de las piezas, así como los resultados del análisis por cada caja.

Tabla 2. Tabla de piezas fabricadas y cajas, longitudes y volumen por pallet

Pieza fabricada	 <p>Sujetador circular para postes eléctricos.</p>			 <p>Grapa de anclaje cónica para auto portante de aluminio.</p>			 <p>Grapa angular de aluminio.</p>		
Lados de las herramientas	Diámetro 0.20m	Altura H1 0.035m		Ancho1 0.04m	Largo2 0.09m	Altura H2 0.18m	Ancho1 0.075	Largo2 0.20m	Altura H3 0.38m
Caja									
Lados de las cajas	Ancho1 0.40m	Largo1 0.60m	Altura H1 0.25m	Ancho2 0.20m	Largo2 0.40m	Altura H2 0.40m	Ancho3 0.30m	Largo3 0.40m	Altura H3 0.40m
N° de cajas horizontales	4			15			9		
N° de cajas verticales	6			3			3		
N° de cajas totales x pallet	24			45			27		

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Análisis del efector final

El efector final será un gripper neumático de efecto doble, de esta forma aprovecharemos la fuerza del aire para poder agarrar bien la caja, durante el movimiento de traslación de un lugar a otro.

El peso total de la caja es de 20 kg, y se espera una aceleración de 2 m/s^2 por parte de la traslación del robot que se programa en el controlador del robot, con lo cual se hallará la fuerza necesaria.

En la figura 40, se observa el diagrama de cuerpo libre donde la flecha roja indica el peso (W), la flecha naranja la normal (N) y las flechas azules, la fuerza de rozamiento (F_r) por parte de ambas placas metálicas.

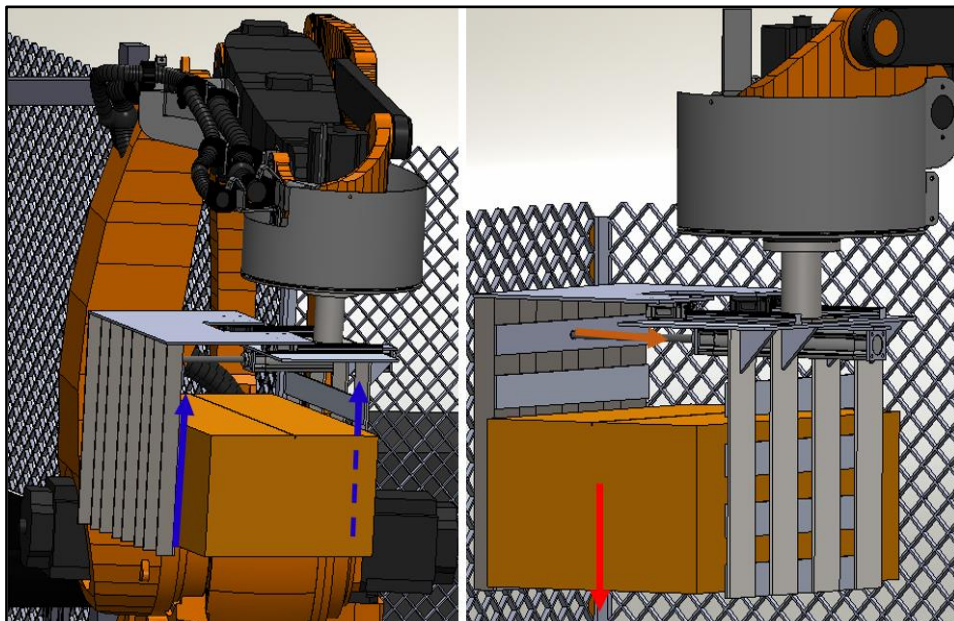


Figura 40. Diagrama de cuerpo libre

Fuente: (Elaboración propia. FlexSim)

Entonces se realiza la siguiente operación matemática realizando diagrama de cuerpo libre.

$$F_r + Fr = W \rightarrow 2F_r = W \rightarrow F_r = \frac{W}{2} \dots (11)$$

Donde: F_r : Fuerza de rozamiento (N)

W : Peso (N)

Luego se realiza la siguiente ecuación de fuerza de rozamiento:

$$F_r = \mu * F_N \dots (12)$$

Reemplazando las ecuaciones (11) y (12)

$$\frac{W}{2 * \mu} = F_N \rightarrow \frac{m * g}{2 * \mu} = F_N \dots (13)$$

Entonces de la ecuación (13), se sabe que coeficiente de fricción (μ) para hierro fundido es de 0.15-0.25 (véase anexo 1, tabla), ya que es una plancha de metal que sostendrá las cajas, por ambas partes. Se obtiene que la fuerza normal (F_N) es la siguiente

De la ecuación (13):

$$\frac{m * g}{2 * \mu} = F_N \rightarrow F_N = \frac{20 * 9.81}{2 * 0.25} \rightarrow F_N = 392.4 \text{ N}$$

Con la fuerza hallada anteriormente, se puede realizar las operaciones para hallar el diámetro interno y externo del cilindro.

El pistón depende del diámetro del cilindro interno y del diámetro del cilindro del embolo para la fuerza de tracción, de la formula (9), sabiendo que la presión estándar es de 6 bar, y que el 20% de F es F_r .

$$F = P * \pi * \left[\left(\frac{D_c}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_e}{2} \right)^2 \right] - F_r \rightarrow 392.4 = 60 * \frac{\pi}{4} * [D_c^2 - D_e^2] - 78.48$$

$$D_c^2 - D_e^2 = 84.93 \text{ mm}$$

Considerando el diámetro externo, según anexo 2, se obtendrá el diámetro interno del embolo.

Para un diámetro de cilindro (D_c) = 32 mm, el diámetro del embolo (D_e) = 13.22mm

Para un diámetro de cilindro (D_c) = 40 mm, el diámetro del embolo (D_e) = 27.40mm

Para un diámetro de cilindro (D_c) = 50 mm, el diámetro del embolo (D_e) = 40.63mm

Normalizando, se selecciona el cilindro = 32 mm y diámetro del embolo con 12 mm.

Para análisis del vástago, para la aplicación del gripper se toma una medida de 230 mm; de la fórmula del pandeo, se obtiene

$$Longitud\ básica = 230 * 0.5 \rightarrow Longitud\ básica = 115\ mm$$

Aplicando la fórmula (10) de consumo de aire, teniendo en cuenta el número de ciclos es de:

Consumo de aire:

$$e = \frac{101.3\ KPa + 600KPa}{101.3KPa}$$

$$e = 6.9$$

$$V = \left[23 * \frac{3.2^2 * \pi}{4} + 23 * \frac{(3.2^2 - 1.2^2) * \pi}{4} \right] * 5 * 6.9\ (l/min)$$

$$V = 11865.98\ cm^2$$

$$V = 11.86\ (l/min)$$

Para la selección de la válvula se necesita el caudal máximo.

$$Q = 1.41 * \left(\frac{\pi * 32^2 * 5 * 230 * 2 * (6 + 1.03)}{4 * 10^6} \right)$$

$$Q = 18.33\ (l/min)$$

3.3.3. Análisis del algoritmo de procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes seguirá los siguientes pasos como se muestra en la figura 41.

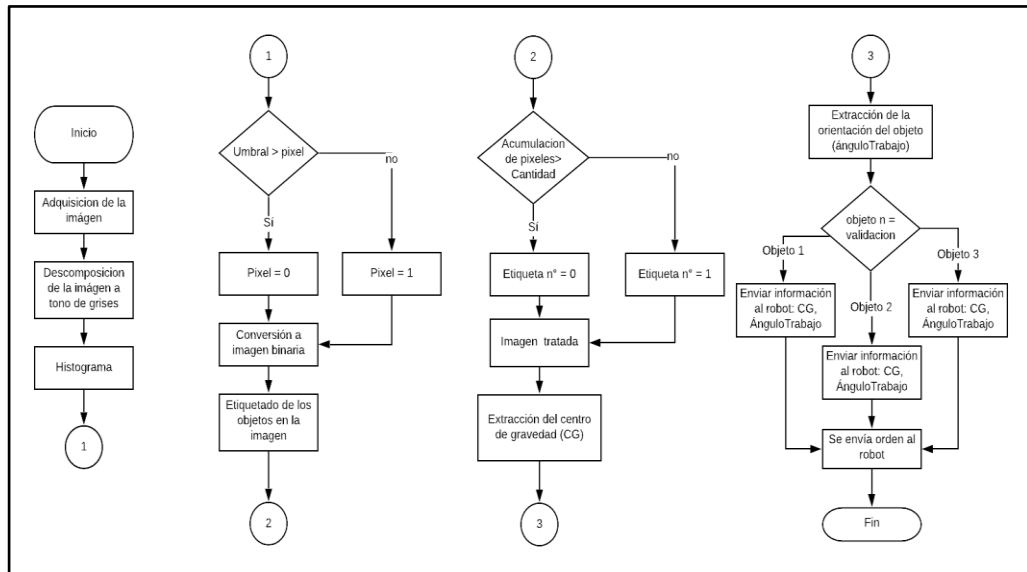


Figura 41. Proceso del procesamiento de imágenes

Fuente: Elaboración propia

La primera parte consta de la adquisición de imágenes, en la cual la cámara graba y toma una foto del entorno. El algoritmo de la descompone la imagen en escala de grises, luego a través del histograma se determina un umbral, lo cual permite que a partir de cierto valor se pueda convertir en uno o en cero. Luego la imagen se etiqueta, dejando solo así el objeto de interés, y a través de acumulación de pixeles poder discriminar la imagen. Se realiza a discriminar el objeto por sus longitudes, tanto de ancho como de largo, se extrae el centro de gravedad y su ángulo de orientación del objeto. Luego de este proceso, se envía ordenes al robot a través del puerto ethernet.

3.3.4. Análisis del algoritmo del robot

EL robot tendrá que ejecutar las tareas repetitivas, es por ello que el algoritmo de programación debe de guiar al robot a los puntos deseados y realizar las secuencias de forma satisfactoria, el proceso se encuentra en el siguiente diagrama de flujo que se encuentra en la figura 42.

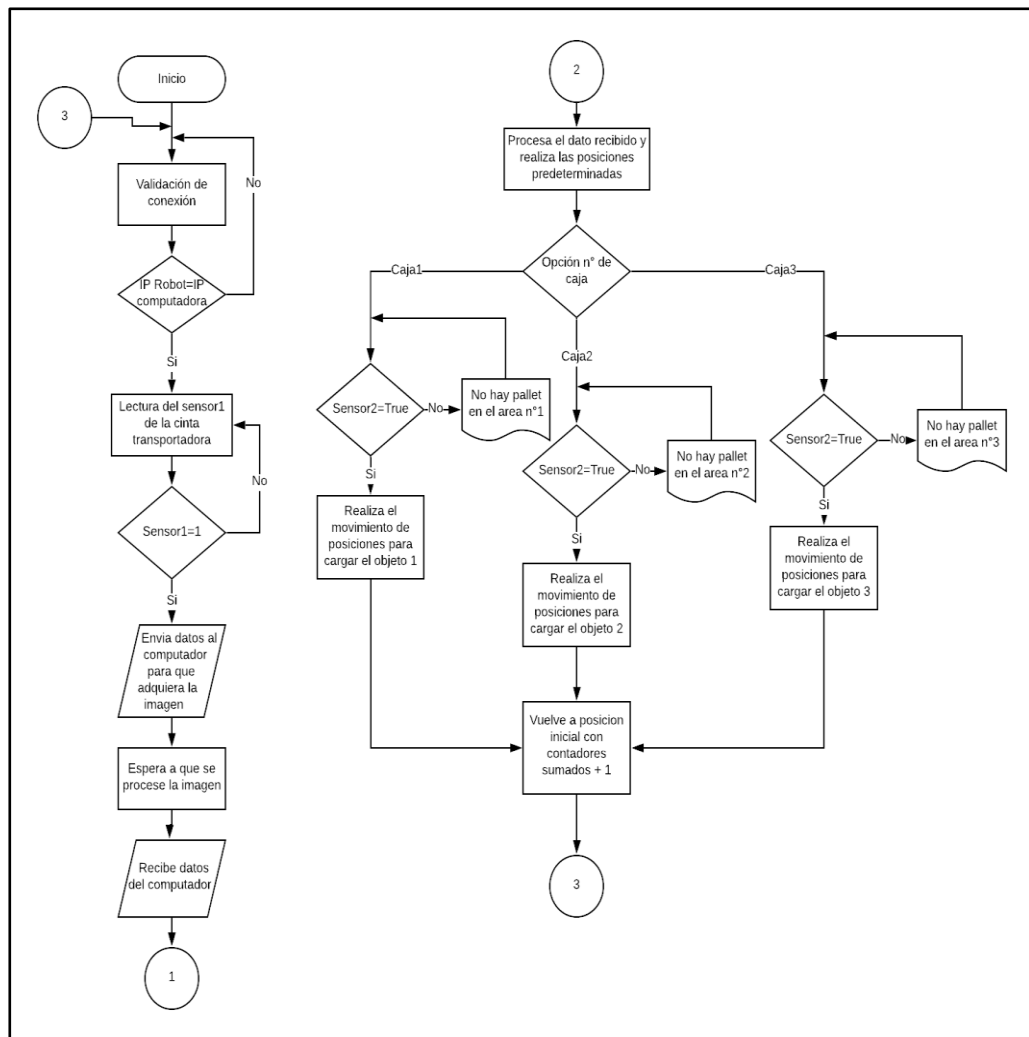


Figura 42. Diagrama de flujo de la programación del robot.

Fuente: Elaboración propia




Para poder mover la faja transportadora que trasladará todas las cajas hacia la ubicación donde se encontrará la cámara web y poder hacer la respectiva evaluación y clasificación del objeto, se tendrá que tener una salida digital para la activación de la faja transportadora. Esta señal será activada a través del sistema de control del robot industrial, que tiene periféricos de control de salidas y entradas digitales.

Así mismo para poder detectar las cajas, será a través de un sensor que envíe 24V por lo cual se necesitará de entradas digitales, lo cual el sistema de control del robot industrial puede facilitar debido a sus periféricos de entradas controladas a 24 V.

Así mismo también se necesitará de otros 3 sensores que puedan reconocer que los palés se encuentren en su posición para que el robot, no tenga problemas en caso no haya palés disponibles donde dejar los productos seleccionados.

De igual forma se necesita una señal para la activación del gripper que encontrará en el efector final, de esa forma se necesita dos salidas digitales para la activación de agarrar y soltar el objeto seleccionado.

Tabla 3. Entradas y salidas del robot industrial

Sistema de control	Salidas digitales: 3	Entradas digitales: 4
		

Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Análisis de riesgos en el área de trabajo

El análisis de riesgos en el trabajo es esencial ya que el operario o trabajador, debe de disponer de una forma de salvaguardar su vida y la de sus compañeros en el caso de desperfectos de las máquinas a manipular, es por ello que este análisis se basa en el daño perjudicial que puede surgir dentro del área de trabajo. Se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Peligro y/o riesgos / Medidas de control

PELIGROS Y/O RIESGOS EN SSMA	MEDIDAS DE CONTROL (Acciones preventivas / correctivas)
Desperfectos con el robot. Corto circuito y descargas eléctricas en las máquinas industriales. Caídas de cajas con peso desde gran altura. Derrumbe del palé, dentro de la zona de trabajo.	Tener un sistema de parada de emergencia. Tener un sistema de tierra. Tener un entorno cerrado, para que no puedan ingresar al área de paletizado. Tener rejillas alrededor del lugar del trabajo

Fuente: Elaboración propia

3.4. Diseño

3.4.1. Diseño del sistema neumático para el gripper

El gripper que estará presente en el efector final, tiene como actuador el pistón neumático de doble efecto para ello, se realiza el diagrama como se observa en la figura 43. Entonces se selecciona el cilindro = 32 mm y diámetro del embolo a 12 mm. Para el vástago, en la aplicación del gripper se toma una medida de 2300 mm.

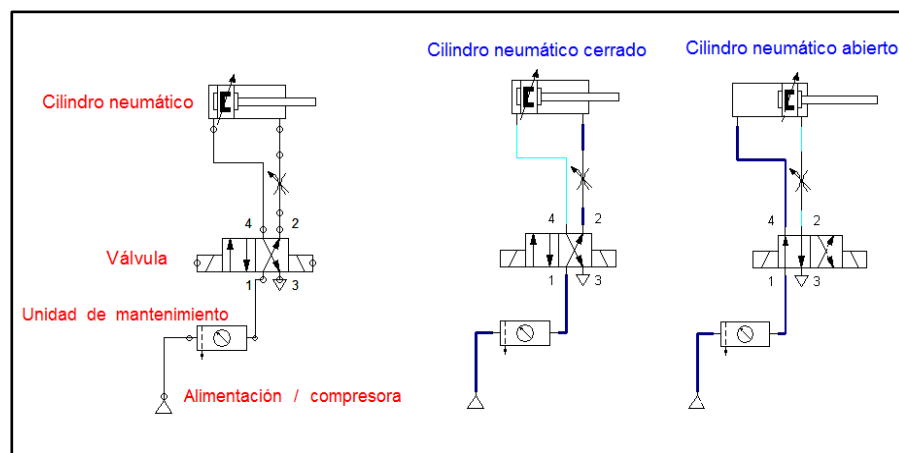


Figura 43. Diseño del circuito neumático.

Fuente: (Elaboración propia. FluiSim,Festo)

En la figura 44, se observa el pistón en estado abierto junto al gripper con las mediciones exactas del análisis de las características del pistón neumático. En la figura 45, se observa el pistón contraído.

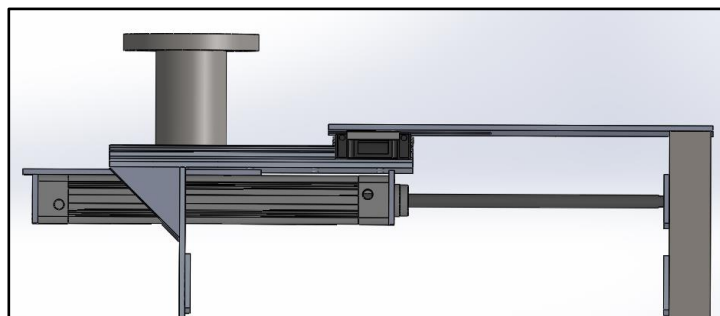


Figura 44. Pistón en estado abierto.

Fuente: (Elaboración propia. Solidwork)

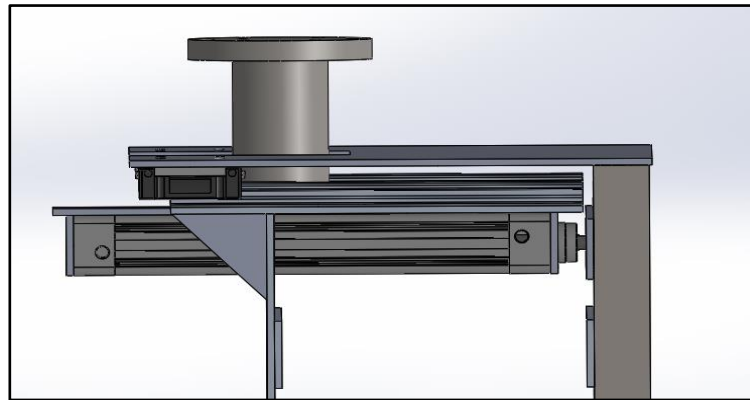


Figura 45. Pistón contraído.

Fuente: (Elaboración propia. Solidwork)

El siguiente diseño se realizó con el software de Inventor Solidwork. Para ello se utilizó un pistón neumático y se colocó en la parte fija de la pinza para coger las cajas. También se pusieron dos antideslizantes industriales en los extremos para que se pueda deslizar con total facilidad. En la figura 46 se muestra el efecto de carga que representa el trasladar las cajas en la estructura del gripper.

Se analizará la estructura haciendo un énfasis en las zonas donde se presenta una deformación que pueda ser representativa durante el funcionamiento del gripper. Se analizará la cara izquierda ya que es la que presenta una mayor deformación. Se aprecia un esquema de la carga en la figura 46. Se va a calcular la deformación que se produce en el extremo.

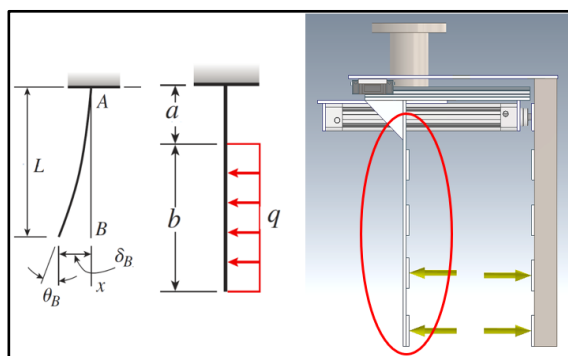


Figura 46. Cargar al aplicar al gripper

Fuente: (Elaboración propia. Solidwork)

De la figura anterior, Cargas aplicadas al gripper, análisis de diagrama de cuerpo libre y deformación producida en zona crítica a analizar

La sección a analizar se muestra en la figura 47



Figura 47. Plancha

Fuente: (Elaboración propia. Solidwork)

Para hallar la deformación máxima que se producirá se utiliza la expresión siguiente:

$$\delta_B = \frac{q}{24EI} (3L^4 - 4a^3L + a^4)$$

(Expresión tomada del libro Mecánica de Materiales 8Ed, James.Gere)

Las variables a reemplazar en la ecuación 1 dependen de las dimensiones del gripper y del momento de inercia de la sección. A continuación, se describe cada una de ellas:

δ_B = Deformación deseada

q = Carga distribuida (40 kg-f distribuido una longitud de 200 mm)

E = Modulo de elasticidad del material, se analizará aluminio y acero

L = Largo total del gripper (400mm).

a = Largo donde se distribuyen los 40kg-f

Debido a que se requiere analizar aluminio y acero, se considera el módulo de elasticidad de cada uno de estos materiales por separado. Considerando un módulo de elasticidad de 210000 N/mm² para el acero y 73100 N/mm² para el aluminio se obtienen dos resultados los cuales se muestran a continuación:

$$\delta_{B-ALUMINIO} = 2.42 \text{ mm} \quad \delta_{B-ACERO} = 0.88 \text{ mm}$$

De esta manera se ha podido calcular la deformación. Hemos obtenido valores que por ser reducido no van a afectar el funcionamiento del gripper. En la figura 48 se esquematiza la deformación que sufrirá el gripper al sujetar las cajas.

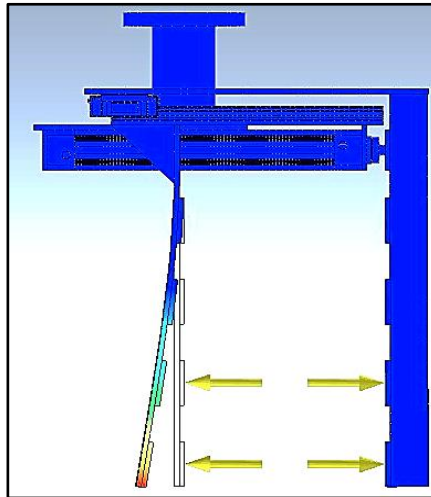


Figura 48. Esquema de deformacion del gripper al sujetar las cajas

Fuente: (Elaboración propia. Solidwork)

En la parte fija también se colocó la brida para el brazo robótico. Algunas anotaciones adicionales son los antideslizantes que se colocan en la parte del borde del gripper neumático, se muestra en la siguiente figura 49.

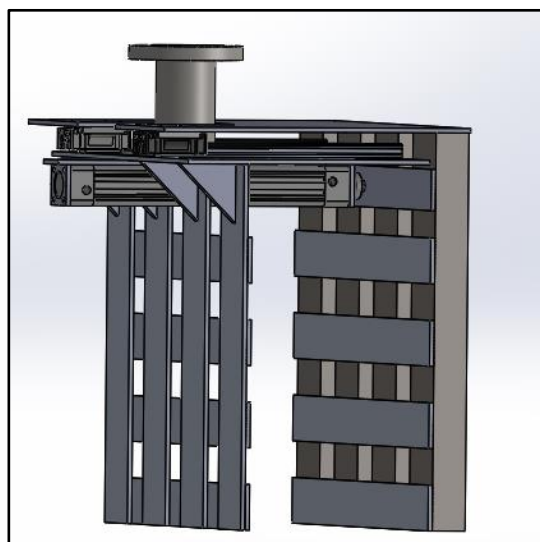


Figura 49. Diseño del gripper neumático.

Fuente: (Elaboración propia. Solidwork)

El pistón neumático se encuentra en la parte central para poder tener toda la fuerza en el medio, mientras que por los lados se encuentran los deslizantes industriales para contracción y expansión del gripper. Los planos del gripper se encuentran en el anexo 8.

3.4.2. Diseño del algoritmo de procesamiento de imágenes

El diseño del algoritmo implementado para el desarrollo de la solución tiene el siguiente esquema como se muestra en la figura 50. Para esto, también contamos con el desarrollo de GUIDE de Matlab, que permite observar la información, características del procesamiento de imágenes en tiempo real.

Se muestra a continuación los pasos y los algoritmos del procesamiento de imágenes.

Para comenzar, hay que tener el ambiente adecuado, esto se refiere a la cantidad de luz percibida por el medio ambiente o por una luz artificial. La luz debe ser la adecuada para que el algoritmo sea eficiente en su totalidad, como se observa en la figura 50, mostrando en la parte izquierda con mucha iluminación y a la derecha se observa con baja iluminación.



Figura 50. Luminiscencia del entorno

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

El segundo paso es la adquisición de la imagen a través de la cámara web, para ello debemos tener referencia de como el software de Matlab reconoce a la

cámara, para esto obtenemos la información con la función “`imqhwinfo`” donde menciona datos importantes acerca del dispositivo de adquisición de imágenes, los más resaltantes son parámetros formato por defecto, el cual nos menciona una resolución de 1280x720, nombre del adaptador “`winvideo`” y el ID del dispositivo “1”. Estos parámetros permitirán visualizar la cámara y poder trabajar con ella en Matlab, como se observa en la figura 51.

```
>> imqhwinfo('winvideo',1)

ans =

    struct with fields:

        DefaultFormat: 'YUY2_1280x720'
        DeviceFileSupported: 0
        DeviceName: 'Microsoft LifeCam HD-3000'
        DeviceID: 1
        VideoInputConstructor: 'videoinput('winvideo', 1)'
        VideoDeviceConstructor: 'imaq.VideoDevice('winvideo', 1)'
        SupportedFormats: {1x11 cell}
```

Figura 51. Datos de la cámara.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Continuamos con el código fuente del script, para la adquisición de la imagen. Para esto seleccionamos la cámara con la que deseamos desarrollar toda la adquisición de imágenes, en este caso la cámara web ‘Microsoft LifeCam HD-3000’, luego guardaremos la imagen obtenida por el comando ‘`snapshot`’ en el archivo ‘`ImagenObjeto.bmp`’, permitiendo así poder trabajar más adelante con este archivo guardado, como se observa en el algoritmo que se encuentra en la imagen 52.

```
CamaraArriba=webcam('Microsoft LifeCam HD-3000');
%preview(mycam) opcion de poder ver la camara en funcionamiento
img=snapshot(CamaraArriba);%para tomar una foto
imshow(img) %se muestra el objeto en el guide
imwrite(img,'ImagenObjeto.bmp'); %guardar la imagen
```

Figura 52. Adquisición de la imagen.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

El tercer paso es el procesamiento de la imagen, esto quiere decir, que se empieza con la conversión de la imagen RGB a escala grises, se lee la imagen guardada en una matriz de bits cada matriz pertenece a un plano diferente de colores, esto se almacena en la variable "I". Adicionalmente a este paso se le extrae el tamaño de la imagen, que queda guardadas en las variables "filasimag" y "columnasimag", estos datos servirán durante todo el algoritmo restante. Continuamos con la transformación de la imagen RGB a escala de grises, para ello utilizamos la ecuación 4, y para cada bit se realiza el algoritmo que se presenta en la imagen 53.

```
[I,map] = imread('ImagenObjeto.bmp');  
imshow(I,map)  
[filasimag,columnasimag,planopert]=size(I);  
ImagGris=zeros(filasimag,columnasimag);  
for i=1:filasimag  
    for j=1:columnasimag  
        ImagGris(i,j)=I(i,j,1)*0.3 + I(i,j,2)*0.5 + I(i,j,3)*0.11;  
    end  
end  
ImagGrisNew=uint8(ImagGris);%Imagen a escala de grises** de entre 0-250
```

Figura 53. Algoritmo RGB a escala de grises.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

De esta forma, del algoritmo anterior, la imagen en escala de grises quedará almacenada en "ImagGrisNew" que presenta los siguientes resultados como se observan en la figura 54, a la derecha se encuentra la imagen en RGB y a la izquierda a escala de grises.

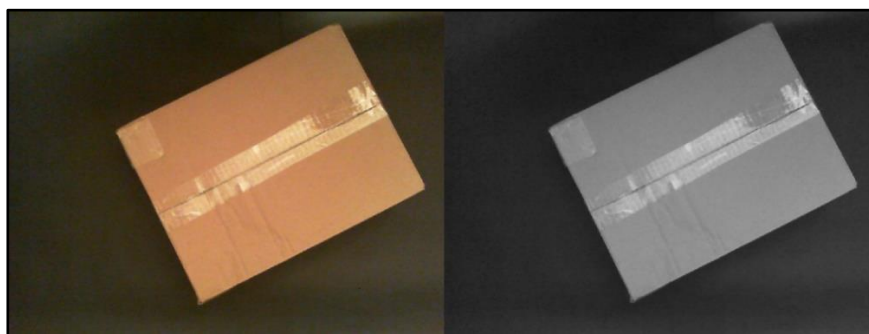


Figura 54. Imagen RGB a escalas de grises.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Procede al conteo de acumulación de las intensidades de gris por pixeles, así se obtiene el histograma de la imagen de escala grises, esto permite observar la curva y escoger el umbral para binarizar la imagen. A continuación, se observa el algoritmo del histograma en la figura 55, siendo 0 la intensidad más oscura hasta el 255 con intensidad más clara.

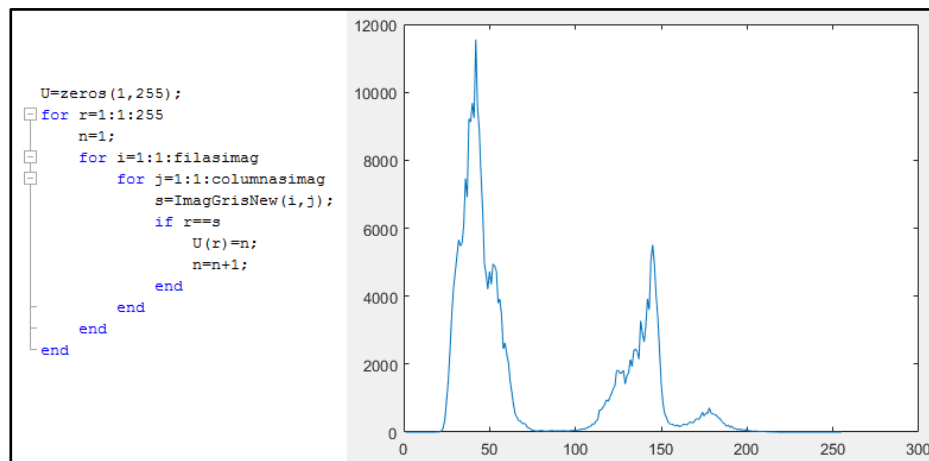


Figura 55. Histograma de la imagen.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Después de obtener el histograma, se procede a convertir la imagen de escalas de grises a una imagen binaria, esto se refiere a una imagen de 1 y 0, donde el 1 es blanco y cero es negro. Para obtener la imagen binaria, se debe de colocar un umbral que depende del histograma, un correcto umbral permite que la imagen diferencie entre el objeto de interés y el fondo. Se puede realizar de dos formas, de manera manual o de manera automática, seleccionando la forma de umbral automático ya que no se debe prescindir de la mano humana. El algoritmo que se muestra a continuación mide los niveles de grises con las ecuaciones 8, 9 y 10, luego halla las medias de ambas partes con la fórmula 11 y se halla la suma ponderada de las variancias con la fórmula 12, de esta forma se halla el umbral automático.

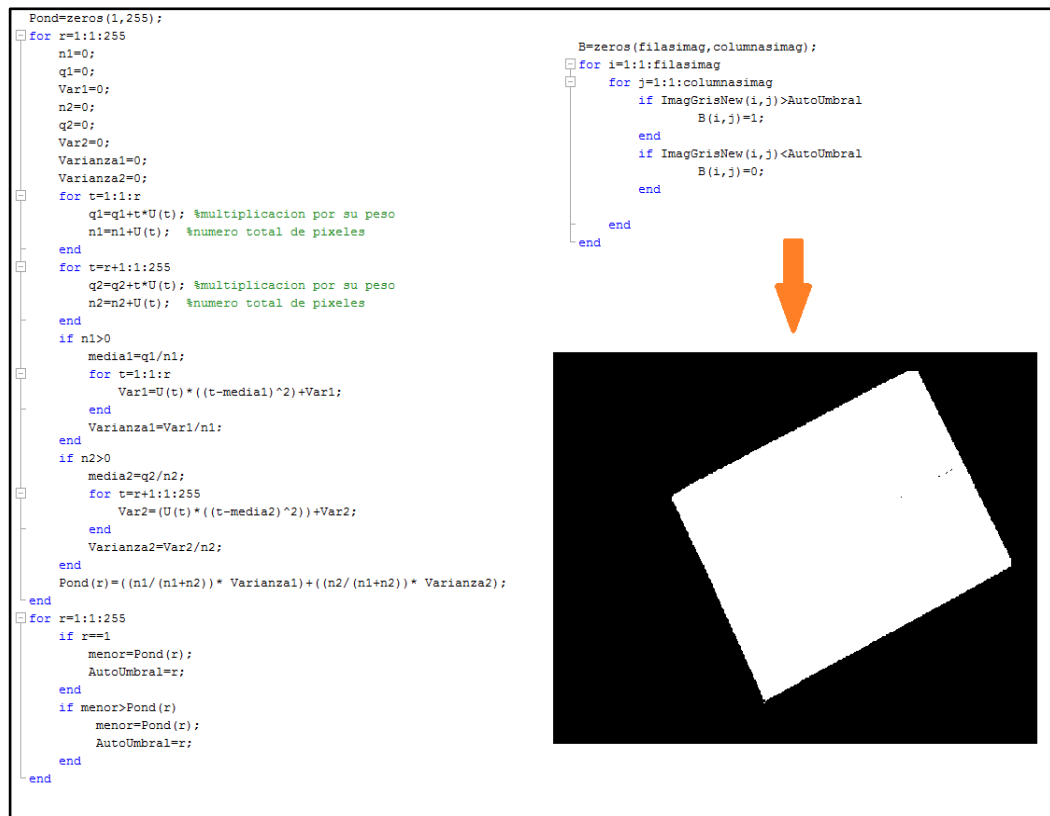


Figura 56. Método de Otsu.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

En el algoritmo de la figura 56, determina el umbral mediante la varianza entre un rango de niveles del histograma anterior, aportando para cada uno su peso (el bit en el que se encuentra) multiplicando por la cantidad de pixeles es ese rango que se encuentra, y calculando la media de estos para su futura multiplicación con el total de pixeles y la varianza respectiva.

Con la imagen binaria en la matriz “B”, aún el objeto de interés tiene pequeñas imperfecciones, como bits negros dentro del área del objeto. Por ello se realiza la dilatación (figura 57, izquierda) de la imagen binaria, pudiendo así convertir a uno los bits ceros dentro del área del objeto. Luego de la dilatación se realiza una erosión (figura 57, derecha), esto permite que la imagen pueda restar los bits de los bordes y las esquinas que es importante para el estudio posterior.

```

%----Dilatacion de imagen-----
B1=zeros(filasimag,columnasimag);
for i=2:1:filasimag-1
    for j=2:1:columnasimag-1
        if B(i,j)==1
            B1(i,j)=1;
            if B(i-1,j)==0
                B1(i-1,j)=1;
            end
            if B(i,j+1)==0
                B1(i,j+1)=1;
            end
            if B(i,j-1)==0
                B1(i,j-1)=1;
            end
            if B(i+1,j)==0
                B1(i+1,j)=1;
            end
        end
    end
end

%----Erosion de la imagen-----
B2=zeros(filasimag,columnasimag);
for i=2:1:filasimag-1
    for j=2:1:columnasimag-1
        if B1(i,j)==1
            if B1(i-1,j)==0 || B1(i+1,j)==0 || B1(i,j+1)==0 || B1(i,j-1)==0
                B2(i,j)=0;
            end
            if B1(i-1,j)==1 && B1(i+1,j)==1 && B1(i,j+1)==1 && B1(i,j-1)==1
                B2(i,j)=1;
            end
        end
    end
end

```

Figura 57. Algoritmo de dilatación y erosión.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Así se puede observar en la figura 58 los cambios generados antes de la dilatación –erosión y el después de la interacción con el algoritmo propuesto.

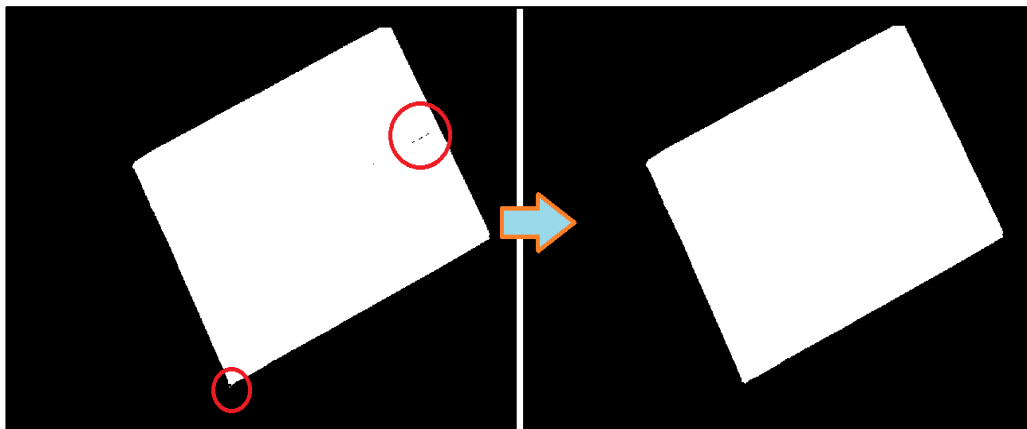


Figura 58. Respuesta del algoritmo.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Después de realizar las operaciones morfológicas al objeto deseado, se realiza el etiquetado de objetos que puedan haber dentro de la misma imagen, esto quiere decir la diferenciación de los objetos dentro de la imagen, por una etiqueta diferente a la etiqueta de otro objeto. El algoritmo de programación propuesto es una variante del etiquetado recursivo, teniendo gran respuesta a los cambios o posiciones del objeto, el algoritmo se presenta en la figura 59, para ello se trabaja con una adyacencia de 8.

El algoritmo presentado, tiene una adyacencia de 8 (vecindad de 8), lo que permite que el etiquetado sea robusto para cualquier posición del objeto u objetos presentes en la imagen, también utiliza un plano “P” que funciona como pila momentánea. Así mismo este algoritmo está dentro de una función propia llamada “Etiquetado”, que devuelve el área de los objetos presentes (AREA), un plano Q donde se encuentra la matriz con las etiquetas de los objetos, una matriz “Imag_Etiquetado” donde se encuentran las figuras, pero de forma binaria y una matriz donde se encuentra el número de etiquetas utilizadas (ETQD).

Ya realizado el etiquetado, se puede optar por la eliminación de ruido u de otros objetos innecesarios en la imagen con la misma función de etiqueta colocando un umbral estimado no mayor al área de interés del objeto. Para esto podemos realizar esta eliminación de objetos mediante el conteo de AREA de los diferentes objetos o también mediante el algoritmo que se observa en la figura 60, donde se observa el conteo de etiquetas (algoritmo de la izquierda) y luego se coloca un umbral y la eliminación de objetos de la imagen (algoritmo de la derecha).

```

% Q matriz con las etiquetas ETQD
NETQT=zeros(1,ETQD);
for k=1:1:ETQD
    n=1;
    for i=1:1:filasimag-1
        for j=1:1:columnasimag-1
            s=Q(i,j);

            if s==k
                NETQT(1,k)=n;
                n=n+1;
            end
        end
    end
end

Imag_SN_Ruido=zeros(filasimag,columnasimag);
for k=1:1:ETQD
    band=NETQT(1,k); %esta es la bandera
    if band<50000
        for i=1:1:filasimag-1
            for j=1:1:columnasimag-1
                s=Q(i,j); %aquí muestra donde se encuentra el valor de etiquetado
                if s==k
                    Imag_SN_Ruido(i,j)=0;
                end
            end
        end
    end
    if band>50000
        for i=1:1:filasimag-1
            for j=1:1:columnasimag-1
                s=Q(i,j); %aquí muestra donde se encuentra el valor de etiquetado
                if s==k
                    Imag_SN_Ruido(i,j)=1;
                end
            end
        end
    end
end
end

```

Figura 60. Eliminación de objetos

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Luego de la eliminación de los objetos, se realiza otra vez el etiquetado, para esto se llama a la función “Etiquetado” y devolverá la imagen “Imag_SN_Ruido2”, que es una matriz de unos y ceros, como se muestra en la figura 61.

```
[ AREA,Q,Imag_SN_Ruido2,ETQD ]=Etiquetado( Imag_SN_Ruido,filasimag,columnasimag );
figure(7)
imshow(Imag_SN_Ruido2) %Imagen sin ruido nuevo plano
```

Figura 61. Función etiquetada.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Con una imagen binaria limpia de objetos o ruido del entorno se procede a realizar el algoritmo del centro de gravedad, utilizando las ecuaciones 17 y 18 de para hallar la abcisa y la ordenada del objeto etiquetado, para ello se utiliza la localizacion de todos los puntos, efectuando una division entre las Areas de los objetos según corresponda el etiquetado al que pertenezcan, tal como se muestra en la figura 62.

```
%CENTRO DE GRAVEDAD de los objetos
%-----
Px=zeros(1,ETQD);%
Py=zeros(1,ETQD);%
for h=1:1:ETQD
    Ptotalx=0;
    Ptotaly=0;
    for i=2:1:filasimag-1
        for j=2:1:columnasimag-1
            if Imag_SN_Ruido2(i,j)==1 && Q(i,j)==h
                px=j; %j pertenece a la recta x
                Ptotalx=px+Ptotalx;
                py=i; %i pertenece a la recta y
                Ptotaly=py+Ptotaly;
            end
        end
    end
    Px(h)=round(Ptotalx/AREA(h));
    Py(h)=round(Ptotaly/AREA(h));
end
for h=1:1:ETQD
    hold on;
    plot(Px(h),Py(h),'+')
end
```

Figura 62. Centro de gravedad.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Generando el siguiente resultado para la imagen procesada, como se observa en la imagen 63, donde se aprecia las coodenadas del centro de gravedad y la posicion en el espacio.

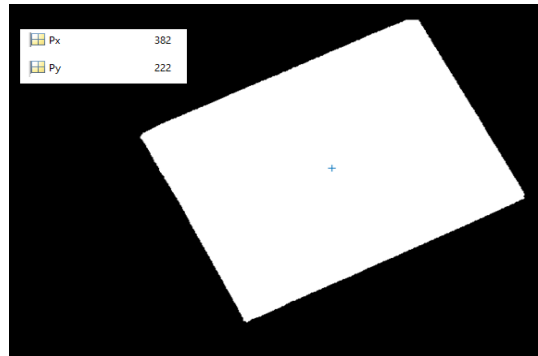


Figura 63. Centro de gravedad del objeto.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Generalmente se deben obtener al inicio el centro de gravedad del objeto, para luego hallar el momento de inercia, y así hallar la orientación del objeto, se utilizan las ecuaciones 19, 20 y 21 para así poder hallar el ángulo de orientación descrita por la fórmula 21; quedando plasmado en el algoritmo de la figura 64.

```
%ORIENTACION del objeto
%-----
Ixx=zeros(1,ETOD);%
Iyy=zeros(1,ETOD);%
Ixy=zeros(1,ETOD);%
AnguloRad=zeros(1,ETOD);%
AnguloSex=zeros(1,ETOD);%
tita=zeros(1,ETOD);%

for g=1:1:ETOD
    Ixxtotalx=0;
    Iyytotaly=0;
    Ixytotalxy=0;

    for i=1:1:filasimag
        for j=1:1:columnasimag
            if Imag_SH_Ruido2(i,j)==1 && Q(i,j)==g
                m=j; %j pertenece a la recta x
                n=i; %i pertenece a la recta y
                rx=Px(g);
                ry=Py(g);
                Ixx=(j-rx)^2;
                Iyy=(i-ry)^2;
                Ixy2=((j-rx)*(i-ry));
                Ixxtotalx=Ixx+Ixxtotalx;
                Iyytotaly=Iyy+Iyytotaly;
                Ixytotalxy=Ixy2+Ixytotalxy;
            end
        end
    end

    Ixx(g)=Ixxtotalx;%
    Iyy(g)=Iyytotaly;%
    Ixy(g)=Ixytotalxy;%

end

for g=1:1:ETOD
    AnguloRad(g)=0.5*atan2(2*Ixy(g),(Ixx(g)-Iyy(g)));
    AnguloSex(g)=0.5*atan2(2*Ixy(g),(Ixx(g)-Iyy(g)))*180/pi;
end

AnguloTrbRad=zeros(1,ETOD);%Angulo de trabajo actual
AnguloTrbSex=zeros(1,ETOD);
Arg1=zeros(1,ETOD);
Arg2=zeros(1,ETOD);

for g=1:1:ETOD
    Arg1(g)=(cos(AnguloRad(g))^2*Ixx(g))+(sin(AnguloRad(g))^2*Iyy(g))+2*(cos(AnguloRad(g))*(sin(AnguloRad(g)))*Ixy(g);
    Arg2(g)=(cos(AnguloRad(g)+(pi/2))^2*Ixx(g))+(sin(AnguloRad(g)+(pi/2))^2*Iyy(g))+2*(cos(AnguloRad(g)+(pi/2))*(sin(AnguloRad(g)+(pi/2)))*Ixy(g);
end

for g=1:1:ETOD
    if Arg1(g)> Arg2(g) %se desea el menor argumento de la ecuacion anterior
        AnguloTrbRad(g)=(AnguloRad(g)+(pi/2));
        AnguloTrbSex(g)=(AnguloRad(g)+(pi/2))*180/pi;
    else
        AnguloTrbRad(g)=AnguloRad(g);
        AnguloTrbSex(g)=AnguloRad(g)*180/pi;
    end
end
```

Figura 64. Algoritmo de orientación del objeto.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Con el algoritmo anteriormente expuesto se obtiene el siguiente resultado, que se puede observar en la figura 65, donde la recta indica el eje por donde pasa el centro de gravedad y la orientación del objeto.

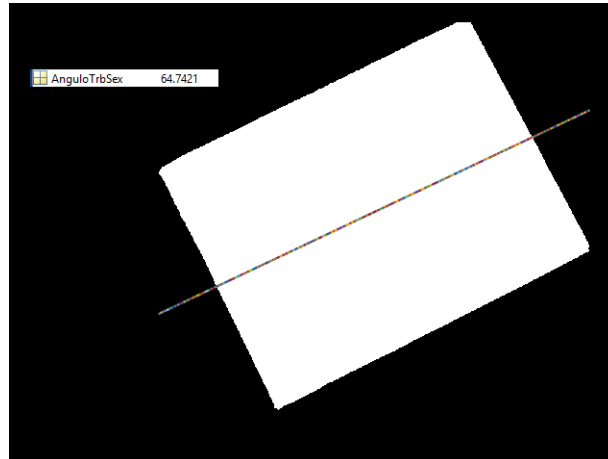


Figura 65. Orientación del objeto.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Para finalizar, se necesita el contorno de la imagen para observar las esquinas posibles, de todos los métodos para obtener contornos, se elige la resta de dos imágenes como se observa en el algoritmo de la figura 66, la primera imagen es la imagen binaria sin ruidos menos la erosión de la misma imagen.

```

%Erosionando la imagen
%-----
Q2=zeros(filasimag,columnasimag);
for g=1:1:ETQD
    for i=2:1:filasimag-1
        for j=2:1:columnasimag-1
            if Imag_SN_Ruido2(i,j)==1 && Q(i,j)==g
                Q2(i,j)=g;
            end
        end
    end
end

%Imag_SN_Ruido2 imagen binaria
P=zeros(filasimag,columnasimag);
for g=1:1:ETQD
    for i=2:1:filasimag-1
        for j=2:1:columnasimag-1
            if Imag_SN_Ruido2(i,j)==1 && Q(i,j)==g
                if Imag_SN_Ruido2(i-1,j)==1 && Imag_SN_Ruido2(i+1,j)==1 && Imag_SN_Ruido2(i,j+1)==1
                    P(i,j)=1;
                    Q2(i,j)=0;
                end
            end
        end
    end
end

ImgCont=Imag_SN_Ruido2-P;
figure(9)
imshow(ImgCont)

```

Figura 66. Algoritmo de contorno.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Teniendo como resultado la figura 67.

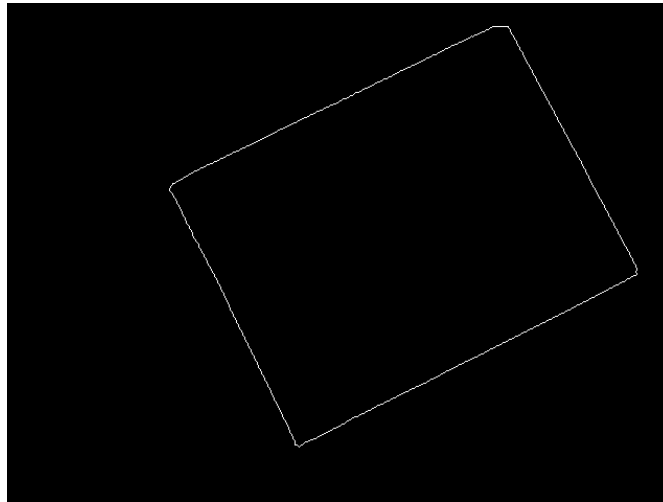


Figura 67. Contorno del objeto.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Para poder hallar las esquinas de las cajas, el punto de origen del plano normal de la imagen es trasladado al punto donde se encuentra el centro de gravedad, después se rota todos los puntos según el ángulo de orientación, para ello se utiliza ecuación 24 y 25, una vez trasladado y rotado todos los puntos, teniendo un nuevo plano en la imagen se obtiene los cuatro cuadrantes cartesianos. A partir de ahí se requiere saber cuál es el mayor vector generado por cada punto hasta el punto de origen, de esta manera el mayor vector de cada cuadrante será el punto donde este la esquina de la caja. Una vez encontrado los puntos donde estén los mayores vectores se realiza la rotación y traslación al plano original de la imagen, para ello se efectúa las ecuaciones 24 y 25; el algoritmo presente en la figura 68 genera como resultado las 4 esquinas de la caja, como se muestra en la figura 68 en la parte derecha.

```

ImCr=0; %conteo de pixeles de imagen
for i=1:filasimag
    for j=1:columnasimag
        if ImgCont(i,j)==1
            ImCr=ImCr+1;
        end
    end
end
P2=zeros(2,ImCr);%coordenas restas del centro de gravedad
P3=zeros(2,ImCr);%coordenas restas del centro de gravedad
val=1;
ALFA=AnguloTrbRad;
for i=1:filasimag
    for j=1:columnasimag
        if ImgCont(i,j)==1
            P2(1,val)=j-Px(1); %respecto al nuevo origen
            P2(2,val)=i-Py(1);
            P3(1,val)=(P2(1,val)*(cos(ALFA))+P2(2,val)*(sin(ALFA)));%gírar
            P3(2,val)=(P2(2,val)*(cos(ALFA))-P2(1,val)*(sin(ALFA)));
            val=val+1;
        end
    end
end
DisCuad1=zeros(1,ImCr);
PosCuad1=zeros(2,ImCr);
DisCuad2=zeros(1,ImCr);
PosCuad2=zeros(2,ImCr);
DisCuad3=zeros(1,ImCr);
PosCuad3=zeros(2,ImCr);
DisCuad4=zeros(1,ImCr);
PosCuad4=zeros(2,ImCr);
r1=1;
r2=1;
r3=1;
r4=1;
for i=1:ImCr
    if P3(1,i) >=0 && P3(2,i) >=0
        P1x=P3(1,i);
        P1y=P3(2,i);
        DisCuad1(1,r1)=sqrt((P1x)^2+(P1y)^2);
        PosCuad1(1,r1)=P1x;
        PosCuad1(2,r1)=P1y;
        r1=r1+1;
    end
    if P3(1,i) <=0 && P3(2,i) >=0
        P2x=P3(1,i);
        P2y=P3(2,i);
        DisCuad2(1,r2)=sqrt((P2x)^2+(P2y)^2);
        PosCuad2(1,r2)=P2x;
        PosCuad2(2,r2)=P2y;
        r2=r2+1;
    end
    if P3(1,i) <=0 && P3(2,i) <=0
        P3x=P3(1,i);
        P3y=P3(2,i);
        DisCuad3(1,r3)=sqrt((P3x)^2+(P3y)^2);
        PosCuad3(1,r3)=P3x;
        PosCuad3(2,r3)=P3y;
        r3=r3+1;
    end
    if P3(1,i) >=0 && P3(2,i) <=0
        P4x=P3(1,i);
        P4y=P3(2,i);
        DisCuad4(1,r4)=sqrt((P4x)^2+(P4y)^2);
        PosCuad4(1,r4)=P4x;
        PosCuad4(2,r4)=P4y;
        r4=r4+1;
    end
end
%completar
PosXY=zeros(2,4);
[M1,I1] = max(DisCuad1(:));
[I_row1, I_col1] = ind2sub(size(DisCuad1),I1);
PosXY(1,1)=PosCuad1(1,I_col1);
PosXY(2,1)=PosCuad1(2,I_col1);

[M2,I2] = max(DisCuad2(:));
[I_row2, I_col2] = ind2sub(size(DisCuad2),I2);
PosXY(1,2)=PosCuad2(1,I_col2);
PosXY(2,2)=PosCuad2(2,I_col2);

[M3,I3] = max(DisCuad3(:));
[I_row3, I_col3] = ind2sub(size(DisCuad3),I3);
PosXY(1,3)=PosCuad3(1,I_col3);
PosXY(2,3)=PosCuad3(2,I_col3);

```

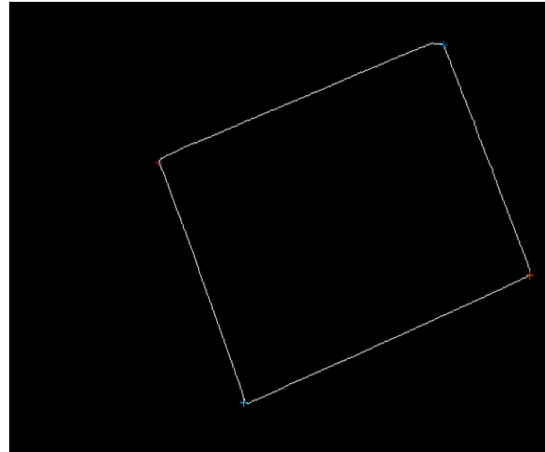


Figura 68. Esquinas de imagen

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Para la calibración de la cámara con respecto a la faja, se procede a realizar la calibración con respecto a tres puntos en la faja o en el plano de trabajo. Para ello se va a la opción de calibración dentro del GUIDE, como se observa en la figura 69, y se escoge con respecto al plano, esto nos permite observar el plano de trabajo con respecto a la cámara.



Figura 69. GUIDE del algoritmo de procesamiento de imágenes.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Para la calibración de la cámara con respecto a la a medida de centímetro por pixel, se utilizó un disco circunferencial de 12.5 cm de diámetro, realizando el procedimiento de conversión a gris, luego binarización de la imagen, después, hallando el centro de gravedad del objeto principal (el disco), se continua a un procedimiento diferente al anterior de las cajas, como se muestra en la figura 70.

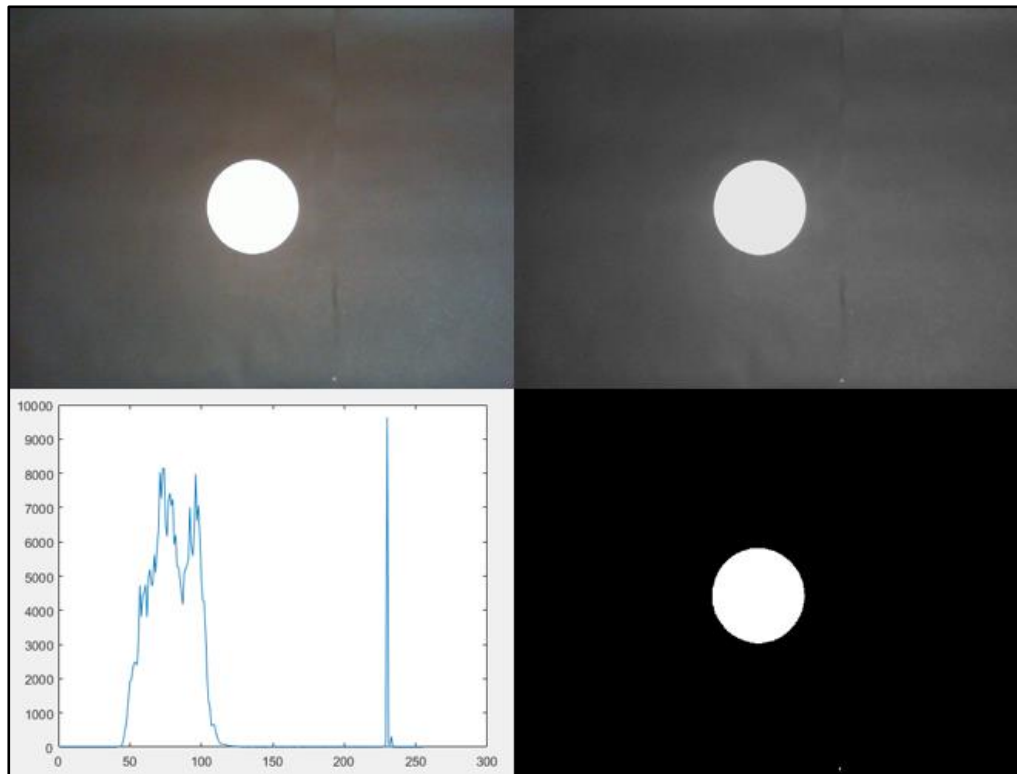


Figura 70. Preprocesamiento del disco.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Una vez hallado el centro de gravedad, se produce la dilatación y erosión de la imagen como se muestra en la figura 71, de esta forma se puede realizar el algoritmo para hallar el diámetro del pixel.

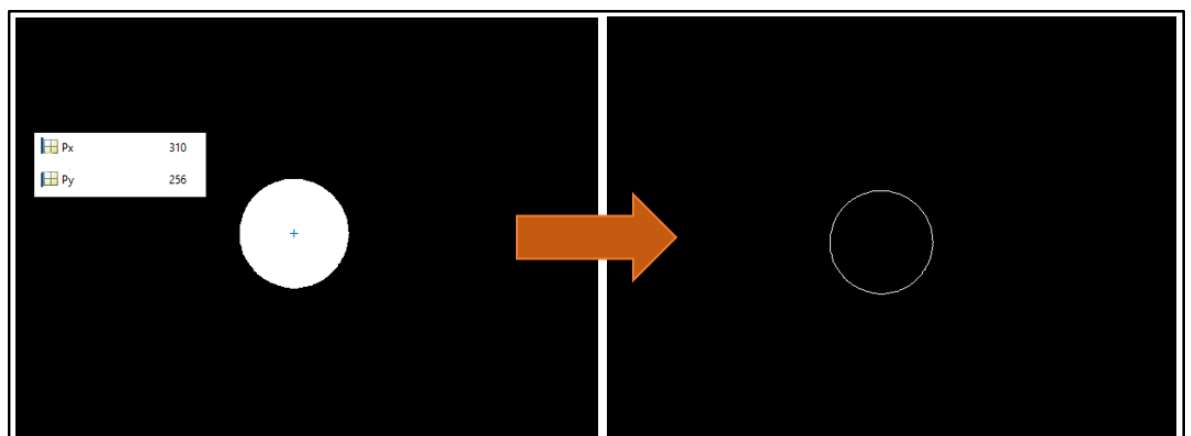


Figura 71. Contorno del disco

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Se procede a hallar las distancias desde el centro de gravedad hacia todos los puntos del contorno, luego de hallar todos los radios, se realiza una media para encontrar el valor promedio de todas las distancias halladas. El valor promedio será el radio del disco, luego multiplicado por dos, resultará en el diámetro que se requiere saber. Paso siguiente mediante una regla de tres simples se efectúa la conversión de pixel a centímetro, como se muestra en el algoritmo de la figura 72.

```

%REALIZAR LAS DISTANCIAS DESDE Px Py
%
d=zeros(ETQD,100000);
VecX=zeros(ETQD,100000);
VecY=zeros(ETQD,100000);
Vx=zeros(g,4);
Vy=zeros(g,4);
for g=1:1:ETQD
    n=1;
    for i=2:1:filasimag-1
        for j=2:1:columnasimag-1
            if ImgCont(i,j)==1 && Q2(i,j)==g
                d(g,n)=sqrt((j-Px(g))^2+(i-Py(g))^2);
                VecX(g,n)=j;
                VecY(g,n)=i;
                n=n+1;
            end
        end
    end
end

%PROMEDIO DE LOS RADIOS
RadioDisco=0;
for i=1:1:n
    RadioDisco=d(1,i)+ RadioDisco;
end
RadioProm= RadioDisco/n;
DiametroDisco=RadioProm*2;

%EQUIVALENCIA PIXEL-CENTIMETRO
diametroTeorico=12.5;
diametroArea=sqrt((4*AREA(1))/pi);
PixelxCent1=(diametroArea)/diametroTeorico;
PixelxCent2=(DiametroDisco)/diametroTeorico;

```

Figura 72. Algoritmo de promedio de diámetro.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Entonces el GUIDE en Matlab se plasma en la figura 73.



Figura 73. GUIDE para calibrar la imagen.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

3.4.3. Diseño del algoritmo del robot

Primero se deberá seleccionar los planos en los que se trabajará la herramienta junto al espacio de trabajo, de esta forma podremos seleccionar en el código de trabajo los cuatro planos. Los planos corresponden a la ubicación de donde se retirará la caja, los otros tres planos corresponden las estaciones de trabajo de cada palé. Ese mismo diseño se realizará para las otras tres estaciones de palés, como se muestra a continuación en la figura 74, donde se utiliza el método de los 3 puntos para la calibración de los 4 sistemas independientes.

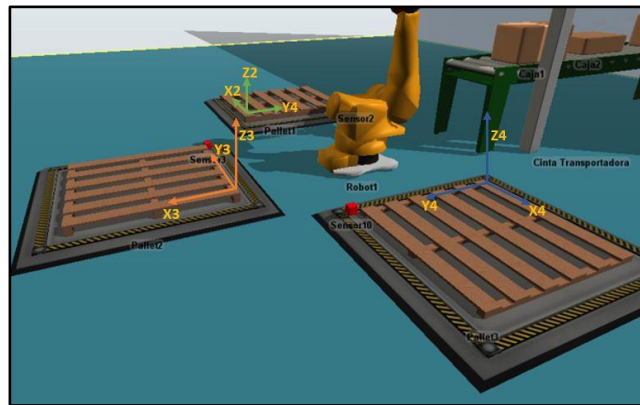


Figura 74. Sistema de palés.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Cada herramienta y base debe de ser guardada, para su futura selección en la línea de código de la programación del robot. En el smartpad del controlador, se encuentra la pantalla como se muestra en la figura 75, donde se observa la base a la que se desea guardar.

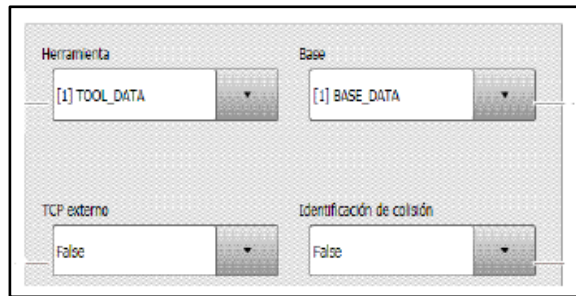


Figura 75. Edición de base y herramientas

Fuente: Elaboración propia.

Por eso se realiza una previa configuración al plano de trabajo del robot, para evitar ocasionar la ruptura de algún elemento mecánico.

El robot industrial estará guiado bajo posiciones pre definidas por el usuario, antes de usarlo, puesto que puede haber daños serios si no se realiza los reajustes correctos. Esto también puede afectar al personal. Como se muestra en la figura 76, donde se muestra las posiciones predefinidas para el palé 1, donde P1 es la posición de descanso del robot, P2 es el primer movimiento hacia la faja, P3 es la posición de para poder sujetar la caja con el gripper, luego la posición P2 se repite para poder extraer el objeto de la faja. Luego el robot se dirige hacia la posición P4 y para dejar la caja se mueve hacia la posición P5, donde el gripper suelta la caja, para poder llegar a la posición P1 se traslada a la posición P4, llegando así a su posición de descanso.

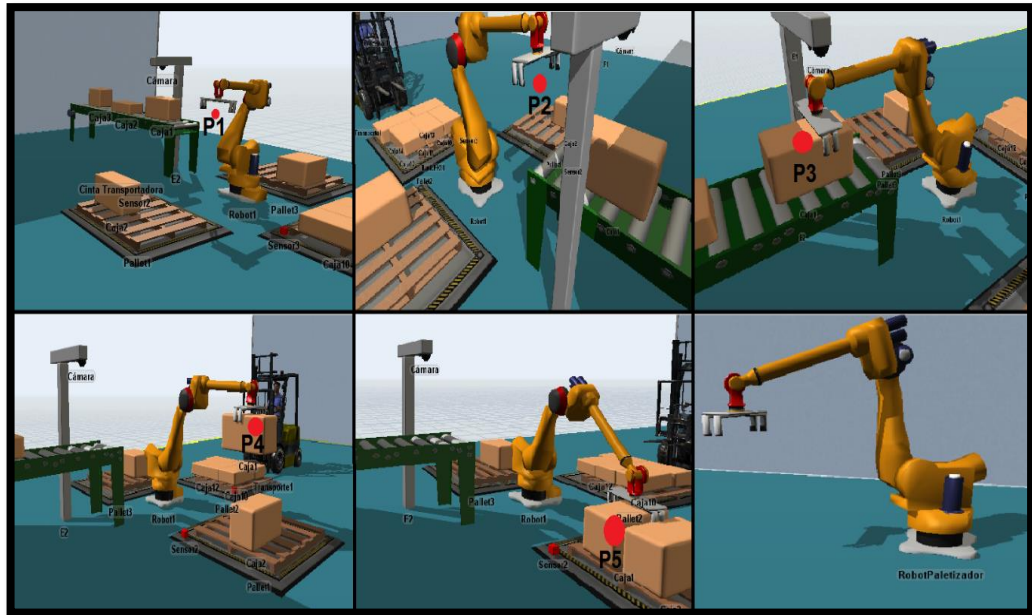


Figura 76. Posiciones del robot.

Fuente: (Elaboración propia. FlexSim)

El algoritmo de programación del robot para los movimientos de cada posición y de la apertura y cierre de la pinza neumática se muestra a continuación en la figura 77, donde se puede observar que iniciamos con una posición inicial de reposo del robot, que será para los tres movimientos de los tres palés. Luego debemos recibir la información del sensor de proximidad de la faja, éste debe detectar una caja para poder entrar a la función “while”. Mientras la pinza neumática se ha declarado como abierto para poder agarrar la caja en P3 y se adquiere los valores del centro de gravedad y la orientación. Después se activa al pinza neumática para cerrar, después de ello mediante LIN (recto), vuelve a la posición P3 y luego realiza el mismo movimiento LIN hacia P4 y P5, donde en la parte final para el palé 1 se abre la pinza neumática y se realiza una pequeña suma en el eje X para que pueda automáticamente desplazarse a la derecha, así mismo cuando haya llegado a P3, la posición que aumenta es Y y disminuye X para que pueda volver al punto de inicio, pero con la nueva posición de Y, terminará de desplazarse en Y cuando haya culminado 3 ciclos, y luego Z desplazara la altura de la pinza neumática hacia arriba para poder continuar con

la cadena de FOR, para poder hacer los bucles necesarios para cada sistema y pueda realizar el proceso de paletizado correspondiente.

```

DEF Codigo_Paletizado( )
INI
PTP HOME Vel=100% DEFAULT
OUT[1]== FALSE ;APERTURA DEL GRIPPER
WHILE $IN[1]==TRUE ;SENSOR DE LA FAJA
OUT[3]== FALSE ;MOTOR DE LA FAJA
OUT[1]== FALSE ;APERTURA DEL GRIPPER
PTP P1 Vel = 50% PDAT1 Tool[1] Base[1]
PTP P2 Vel = 50% PDAT1 Tool[1] Base[1]
PTP P3 Vel = 50% PDAT1 Tool[1] Base[1] ;POSICION PARA AGRRAR L ACAJA ENCIMA DE LA FAJA
OUT[1]== TRUE ;CIERRE DEL GRIPPER
PTP P2 Vel = 50% PDAT1 Tool[1] Base[1]
PTP P1 Vel = 50% PDAT1 Tool[1] Base[1]
SWTCH status
CASE 1
IF $IN[1]==TRUE THEN ;SENSOR DEL PALLET 1
FOR k=1 TO 3 ;eje Z
FOR j=1 TO 3 ;eje y
FOR i=1 TO 3 ;eje x
LIN P4 Vel = 25% PDAT1 Tool[2] Base[2]
LIN P5 Vel = 25% PDAT1 Tool[2] Base[2]
OUT[1]== FALSE ;APERTURA DEL GRIPPER
LIN P4 Vel = 25% PDAT1 Tool[2] Base[2]
POSX=POSX+30
ENDFOR
POSY=POSY+40
POSX=POSX-90
ENDFOR
POSZ=POSZ+40
POSY=POSY-120
POSX=POSX-90
ENDFOR
END IF
ENDSWITCH
ENDWHILE
END

```

Figura 77. Algoritmo del robot.

Fuente: (Elaboración propia. Kuka SimPro)

El tablero KRC4 recibirá información de 3 sensores capacitivos que se encontraran al costado de cada palé, para asegurar que cada palé se encuentra en su lugar. Así mismo recibirá información del sensor infrarrojo difuso, que nos permite detener la faja, para que la cámara se active y el robot pueda coger la caja. Por otra parte, tendrá otros botones adicionales de parada de emergencia, por si ocurre alguna colisión o echo imprevisto



Figura 78. Tablero *KUKA*.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Enlace Matlab y robot Kuka

Para lograr el enlace entre el robot Kuka y el software de Matlab, se utilizará la comunicación ethernet TCP/IP, por el cual enlaza y se compara el IP de la computadora, adicionalmente se utilizan funciones especiales de para poder enviar información al controlador y permita la comunicación bidireccional. Debido al paquete tecnológico con el que cuenta Kuka. Se puede hacer la conexión como se muestra en la figura 79.

```
t = tcpip('192.168.0.22');  
close all;  
clc;clear all; %cerrar la camar para poder abrirla otra vez  
mycam=webcam('Microsoft LifeCam HD-3000');
```

Figura 79. Conexión TCP/IP.

Fuente: (Elaboración propia. Matlab)

Entonces del algoritmo del robot y del procesamiento de imágenes, ambos enlazados, se obtiene ya todo el sistema de paletizado, como se observa en la figura 80.



Figura 80. Sistema de paletizado.

Fuente: (Elaboración propia. FlexSim)

3.4.5. Diseño del área de trabajo

Por otra parte, necesitamos que el sistema de paletizado se encuentre en un lugar cerrado y que cuente con los botones de parada de emergencia ante cualquier señal de peligro para los trabajadores o mal funcionamiento de los componentes de la empresa. Por ello dentro de la empresa se ha seleccionado el área de trabajo.

El área de trabajo se encuentra cerca a la próxima celda robotizada para piezas en CNC, como se muestra en la figura 81, cuenta con un robot Fanuc para la alimentación de piezas.



Figura 81. Celda robótica de CNC con robot industrial Fanuc.

Fuente: Elaboración propia

La siguiente simulación muestra cómo quedaría el área de trabajo con la celda robotizada, y el sistema de paletizado, donde el cuadro azul indica la posición donde ira el robot industrial, como se muestra en la figura 82.



Figura 82. Celda robótica de paletizado y CNC

Fuente: (Elaboración propia. Factory)

De igual forma tenemos la posición en como el sistema de paletizado interactuará con los carros que levantan las cargas en la industria, como se muestra en la siguiente figura 83 y en la figura 84.

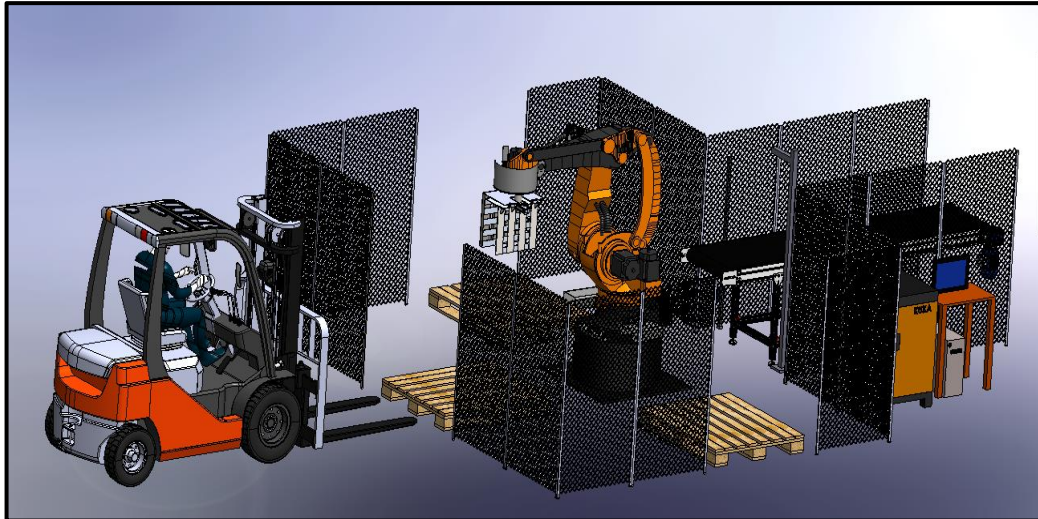


Figura 83. Sistema de paletizado con montacargas móvil.

Fuente: (Elaboración propia. Solidwork)

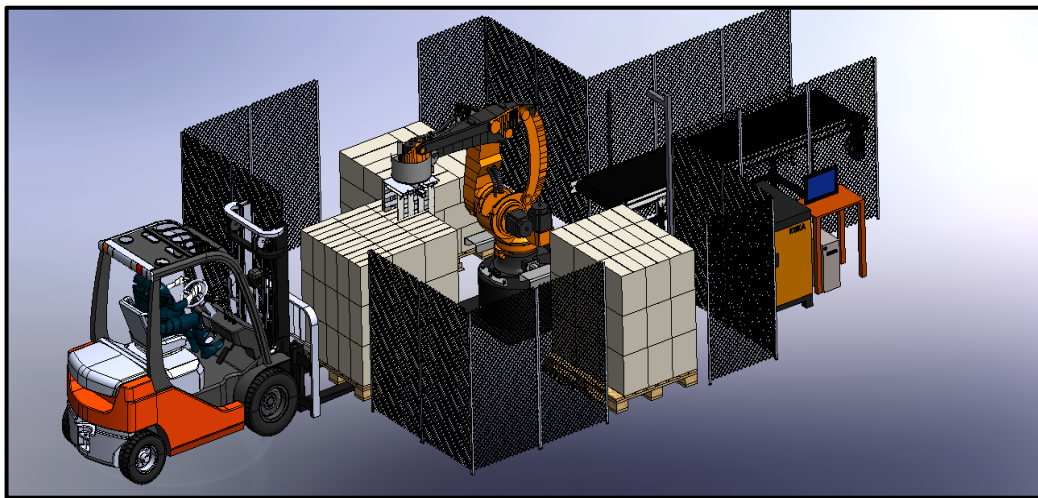


Figura 84. Celda de paletizado

Fuente: (Elaboración propia. Solidwork)

3.5. Selección

3.5.1. Selección del robot industrial a escoger

Para la selección del robot industrial, se escogió respecto al payload, que es la carga en el efector final, tomando consideración que la carga es de 20 kilogramos y la carga de la pinza es alrededor de 15 kg, tenemos la siguiente elección del robot “KR 40 PA” marca Kuka, como se muestra en la tabla 5 y en la tabla 6.

Tabla 5. Características del robot

Compañía	KUKA	ABB	FANUC
Serie de robot	KR 40 PA	IRB 4600	M-20iA/35M
Ejes	4	6	6
Alcance	2091 mm	1730 mm	1813 mm
Capacidad de carga	40 kg	20-60 kg	35 kg
Protección	IP65	IP67	IP67

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Característica de los controladores.

Compañía	KUKA	ABB	FANUC
Serie del controlador	KR C4	IRB 4600 Compact	R30iB
Input / Output	24 / 24	16 / 16	18 / 20
Memoria	SSD	---	DRAM / FROM
Peso	150 kg	28.5 kg	60kg
Protección	IP54	IP20	IP54
Comunicación	Ethernet	---	Ethernet

Fuente: Elaboración propia.

Las características especiales para haber seleccionado el robot y controlador kuka es la carga, el alcance y las entradas y salidas que podemos manejar con

el contralador. Como se muestra en la figura 85, de esta forma se observa la amplitud de área del trabajo, como se muestra en anexo 4.



Figura 85. Robot seleccionado

Fuente: (Manual de Robot Kuka KR 40 PA, pág. 1)

Así mismo se seleccionó el controlador del robot, siendo este el que entrega la potencia a los servomotores, controla sensores y actuadores adicionales gracias a sus puertos de entradas y salidas. También incluye el SmartPad, donde tiene el entorno de programación del robot. Sus datos técnicos se observan en el anexo 5. Este controlador y Smartpad se muestra en la figura 86.



Figura 86. Controlador del robot

Fuente: (Kuka PB Controllers, pág.3)

3.5.2. Selección del sistema neumático

Para la pinza neumática se ha seleccionado el pistón de doble efecto Festo, el Cilindro neumático Festo DSBC-32-200-PPVA-N3, mostrado en la figura 87.



Figura 87. Cilindro neumático DSBC-32-200-PPVA-N3.

Fuente: (Festo, 2019, pág.1)

Los datos técnicos se presentan en la tabla 7, debido a los cálculos realizados en el capítulo 3.3 de Análisis.

Tabla 7. Datos técnicos del cilindro neumático Festo

Datos técnicos	Cilindro neumático Festo DSBC-32-200-PPVA-N3
Carrera de vástago	230mm
Funcionamiento	Doble efecto
Fluido	Gaseoso
Diámetro de embolo	32mm
Diámetro de vástago	12mm
Forma final del vástago	Enroscado

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que la selección se realizó basándose relaciones de normativas echas por Festo, también las simulaciones se hicieron en FluidSim de Festo.

La selección de válvulas es de 3/2 tipo electroválvula con solenoides en ambos extremos, esta configuración permite que el controlador del Kuka KR C4, acceda a la automatización del pistón neumático. Se observa la elección de la válvula en la tabla 8.

Tabla 8. Datos técnicos de la válvula VUWG.

Datos técnicos	
Funciones de las válvulas	5/2, 5/3, 2x3/2
Caudal [l/min]	100, 220, 380, 750
Presión de funcionamiento [bar]	1,5 bis 8 (-0,9 ... +10 bar con el tipo S)
Margen de temperatura [°C]	De -5 a +60 (con reducción de la corriente de parada)
Conexión neumática	M3, M5, M7, G1/8
Utilizaciones	QS 3, 4, 6, 8, 10
Ancho [mm]	10 y 14
Tensión de funcionamiento	5 VDC, 12 VDC y 24 VDC
Clase de protección	IP40, IP65
<ul style="list-style-type: none"> • Válvula en-línea, válvula semi en-línea y válvula para placa base • Montaje directo como válvula individual o montaje en batería • Listón distribuidor para 16 válvulas • Accionamiento manual auxiliar: pulsador (sin enclavamiento)/con enclavamiento 	

Fuente: (Elaboración propia. Manual Festo)

La selección es debido a la presión en la que trabaja, 6 bares, así mismo el caudal de nuestro diseño es de 33 l/min, y cumple con las características. La imagen de la pieza seleccionada se observa en la figura 88.





Figura 88. Válvula 3/2.

Fuente: (Festo, 2009)

3.5.3. Selección de la cámara

La sección de la cámara para el procesamiento de imágenes se realizó con respecto al número de imágenes tomada por segundo, así como la compatibilidad con el software y el computador.

Tabla 9. Comparación de cámaras

Compañía	 Microsoft	
Serie cámara	HD-3000	C270
Fotogramas	30 fps	30 fps
Resolución	720 HD	720 HD
Comunicación	USB	USB

Fuente: Elaboración propia.



Figura 89. Cámara para procesamiento de imágenes.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Selección de los sensores

Para poder saber cuándo pase una caja, el sensor fotoeléctrico difuso enviará un pulso para que el KRC4 detenga el motor de la faja. Para esto el sensor elegido se presenta en la tabla 10 con datos técnicos.

Tabla 10. Comparación de sensores fotoeléctricos difusos

Serie	RS 444-3451	E18-D80NK
Rango	0.12 m, 0.3 m, 2 m, 15 m	3-80 cm
Voltaje	24V DC	5V DC
Corriente	100 mA	100 mA

Fuente: (Elaboración propia.)



Figura 90. Sensor *fotoeléctrico difuso*

Fuente: (RS S.A.C, 2019, parr.1)

Los sensores que irán en la parte de debajo de los topes de los pallets serán los sensores capacitivos, debido a que tienen la capacidad de poder enviar información de un objeto a poca distancia, por tal razón, se selecciona el sensor mostrado en la tabla 11.

Tabla 11. Comparación de sensores capacitivos

Serie	LJC18A3-H-Z/BX	E18-D80NK
Rango	1 - 10mm	16 mm
Voltaje	6-36V DC	6-36V DC
Corriente	200 mA	200 mA

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra en la figura 91 el sensor capacitivo seleccionado.



Figura 91. Sensor *Capacitivo*

Fuente: (MTLab, 2019)

CAPITULO 4

RESULTADOS

4.1. Resultados

El desarrollo del algoritmo de procesamiento de imágenes, se tiene en consideración las dificultades al momento de estar en el área de trabajo, se refiere a polvos y/o sustancias generadas por las maquinas industriales cerca al área de paletizado, por ello es debido de utilizar un buen algoritmo de adquisición de imágenes, realizar las operaciones morfológicas vistas en el Capítulo 3 y etiquetado del objeto que se deseaba extraer. Así mismo debemos tener en cuenta la homotecia para poder saber el tamaño real de la caja. En el caso del todo el algoritmo programado, se tiene una tolerancia de error de menos de 5mm en el centro de gravedad y con un 100% de aciertos en discriminar el tipo de caja. Así como se muestra en la figura 92, donde se puede observar el centro de gravedad de cada tipo de caja.



Figura 92.- El centro de gravedad calculado por el algoritmo de procesamiento de imágenes.

Fuente: Elaboración propia.

La pinza neumática se diseñó con una plancha con material de acero en la parte estática debido al pequeño pandeo que tiene este material con respecto a otro como el aluminio debido al módulo de elasticidad, en el caso del acero el pandeo es de 0.88 mm y el de aluminio el pandeo máximo es de 2.48 mm. Así mismo utilizar perfiles en U en la parte móvil de la pinza neumática, permite que no exista algún tipo de deformación al momento de que el pistón se retraiga.

El algoritmo de se realizó para que se obtuviera 5 ciclos repetitivos máximos por el robot industrial, esto genera una alta productividad en cuanto a la reducción de tiempo en la colocación de las cajas en sus palés correspondientes; así mismo al tener una velocidad de 2 m/s, asegura una velocidad lenta para mantener el objeto en su centro de gravedad junto a la pinza neumática sin que se mueva este en el movimiento.

Para la comunicación entre el robot industrial y el procesamiento de imágenes, se debe realizar las configuraciones iniciales tanto en el código de programación de Matlab y el código de programación en el controlador del robot, donde la importancia reside en la coincidencia del IP entre ambas máquinas. Así mismo el KRC4 tiene la suficiente cantidad de entradas y salidas para poder recibir las señales digitales de los sensores y así mismo poder controlar el actuador neumático de la pinza y el contactor del motor de la faja.

4.2. Presupuesto

Tabla 12. Presupuesto del Diseño

COSTO DEL DISEÑO				
Items	Cantidad	Soles	Dólares	Total
Robot KUKA KR-40-PA con el KRC4	1	--	\$51,000.00	\$51,000.00
Cámara HD-1300	1	S/90.00	\$30.00	\$30.00
Sensor Fotoeléctrico Difuso	1	--	\$81.32	\$81.32
Sensor Capacitivo - LJC18A3-H-Z/BX	4	S/44.00	\$13.00	\$52.00
Manguera neumática	1	S/160.00	\$50.00	\$50.00
Festo DSBC-32-200-PPVA-N3	1	--	\$150.00	\$150.00
Válvula de 3/2 Festo	1	--	\$50.00	\$50.00
Riel perfilado, Serie 400 Bola Plataforma, Size: 20 mm	2	--	\$120.00	\$240.00
Riel perfilado, Serie 400 Bola Riel, 2000 mm	1	--	\$763.00	\$763.00
Rejas de 180x80	20	S/100.00	\$29.00	\$580.00
Metales en U, L	2	S/250.00	\$74.00	\$148.00
Cables u otros	1	S/500.00	\$148.00	\$148.00
Costos de operaciones	1	S/1,000.00	\$297.00	\$297.00
Costo de diseño	1	S/4,000.00	\$1,186.00	\$1,186.00
				\$54,775.32

Fuente: Elaboración propia.

El tipo de cambio según la SBS de la fecha 21/02/2020 es de 3.391 nuevos soles.

Tabla 13. Actividades del ISP

ACTIVIDADES DEL PROGRAMA DE PROGRAMA ESPECIAL DE TITULACIÓN																
ACTIVIDADES DEL INFORME DE SUFICIENCIA PROFESIONAL	FECHAS DE TRABAJO															
	MAYO			JUNIO					JULIO				AGOSTO			
	11	18	25	1	8	15	22	29	6	13	20	27	3	10	17	24
Investigación e ideas de investigación del ISP.																
Planteamiento de la problemática.																
Realización de los objetivos y alcances .																
Planteamiento del marco teórico.																
Primera entrega del capítulo I.																
Conceptos del marco teórico.																
Desarrollo del marco teórico.																
Revisión 1 del marco teórico.																
Revisión del marco teórico.																
Segunda entrega del capítulo I y II.																
Protección de datos informáticos.																
Vulnerabilidades en el sistema.																
Estructura de conclusiones y resultados.																
Presentación de vulnerabilidades.																
Tercera entrega del capítulo I, II, III.																
Entrega final del trabajo capítulo I,II,III y IV.																

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Actividades del trabajo.

ACTIVIDADES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE PALETIZADO																									
ACTIVIDADES DE TRABAJO PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA DE PALETIZADO		FECHAS DE TRABAJO																							
		ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO			
		1era	2da	3era	4ta	1era	2da	3era	4ta	1era	2da	3era	4ta	1era	2da	3era	4ta	1era	2da	3era	4ta				
	Semanas																								
Reunión y debates sobre problemas en la planta.																									
Planteamiento de soluciones.																									
Planteamiento de solución: procesamiento de imágenes y posible robot industrial.																									
Inspección del área de trabajo																									
Diseño del procesamiento de imágenes.																									
Elección del robot industrial.																									
Diseño del algoritmo del robot.																									
Diseño del gripper para el robot industrial.																									
Diseño del sistema general depaletizado.																									
Selección de componentes para el diseño																									
Entrega del diseño de solución de paletizado.																									

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El diseño de algoritmo de imágenes depende mucho de la iluminación de la escena y el ruido que existe debido al ambiente industrial. La discriminación de objetos se basó en áreas y toma de longitudes del perímetro de las cajas que pasan por la faja transportadora. El algoritmo tiene gran cantidad de aciertos al momento de procesar la imagen y discriminarla, la tolerancia de encontrar el punto de o centro de gravedad del objeto es de 5mm.

La pinza neumática echo con material de acero, se hizo debido a que utilizar un material liviano como el aluminio nos daba mucho pandeo en la parte final de las planchas y esto debido a la compresión del pistón y la fuerza que ejerce contra esta pared. Sin embargo, se pudo comprobar que los perfiles en U y las planchas de acero con las cartelas correspondientes tenían menos pandeo en la última parte de la pinza.

En cuanto al algoritmo del robo industrial, se tuvieron que utilizar periféricos de entradas y salidas del controlador del robot del mismo KRC4, para el control de la cinta transportadora. Así mismo el robot se diseñó para que los sensores inductivos sirvan como protección del paletizado

Para el enlace del robot industrial y del computador con procesamiento de imágenes, se utilizó comunicación ethernet, a través de validación de IP's entre el controlador y el software de Matlab. Teniendo que realizar las configuraciones e instalaciones de los paquetes tecnológicos tanto en Matlab como en el software del KCR4.

RECOMENDACIONES

Es necesario para el buen funcionamiento del sistema total, hacer las calibraciones correspondientes tanto a la cámara, el robot industrial, sensores y actuadores que se utilicen, ya que una mala calibración de estos puede generar errores que se pueden acumular y generar riesgo en el área de trabajo.

Para la operatividad entre el controlador del robot industrial y el software de Matlab, es necesario tener los paquetes tecnológicos instalados correctamente para la conexión de red entre ambas máquinas. Así mismo el IP de ambas deben de coincidir para no generar una mala vinculación en la red industrial en la que se esté trabajando.

En la pinza neumática es necesario colocar cartelas y soldaduras respecto a las medidas propuestas en este tema de tesis. Así mismo la soldadura, fresador y tornado, deben de estar sujetas respecto a las normas y tipo de materiales establecidos para el buen funcionamiento de éste.

Es necesario hacer una limpieza en el lente de la cámara cada 1 mes o cada vez que sea necesario, esto debido al polvo que se acumula por el entorno laboral. El robot, por otra parte, se debe realiza un mantenimiento cada 8'000 horas máquina, lo que equivale cada 10 meses (tiempo sugerido). Así mismo, el mantenimiento necesario para todos los equipos que conforman el proyecto debe estar sujeto a la ficha técnica del fabricante para la reposición de alguna pieza desgastada o que pueda estar fallando en el sistema.

OBSERVACIONES

En cuanto al algoritmo de imágenes y el GUIDE se experimentó con cajas reales, dando buenos resultados, debido a que se tienen estos objetos para el desarrollo y experimentación del algoritmo.

En cuanto a la conexión y manipulación del robot no se pudo concretar debido a la carencia del KRC4 como controlador y el KR 40 PA como robot, sin embargo, el algoritmo de programación expuesto para apilar las cajas es el correcto y permite un buen resultado.

El diseño de la pinza neumática puede ser mejorado integrando garras como forma de sujeción para las cajas, esto llevaría al cambio de la faja transportadora de cinta por un diseño de transportadora de rodillos. El diseño se realizó con la faja transportadora de cinta que tiene la empresa es por ello que el resultado de la pinza neumática es tipo plana por ambos lados.

BIBLIOGRAFÍAS

Acevedo, J., Baires, A. & Perdomo M. (2009) *Diseño de un sistema de calidad para los procesos de manufactura en el sector metal mecánica en Sal Salvador*. (Tesis de pregrado) Universidad Francisco Gavidia, San Salvador-El Salvador.

Aguilar, J. (2011) *Diseño y construcción de un brazo robot de 6 grados de libertad con fines educativos para aplicaciones en nivel medio superior* (tesis de pregrado). Instituto politécnico Nacional, México.

Amador, F. (2005) *Sensores magnéticos e inductivos* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca.

Barajas PKG Group Recuperado de:
<http://www.pkggroupspain.es/productos/automatizacion-finales-de-linea/>

Barriga, B. & Javier, J. (2015) *Diseño de un sistema mecatrónico para seleccionar paltas por calibre*. (Tesis de Maestría) Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima-Perú.

Basantes J., Torres F. y Banda, H. (2009) Desarrollo de un sistema de control para un brazo robótico mediante adquisición y procesamiento de imágenes. *ResearchGate* 11 páginas.

Beltrán, L. (2015) *Aplicación de la Lógica difusa en la visión artificial bidimensional para mejorar la locomoción bípeda de robots humanoides de carrera* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo.

Blasco, Y. (2018) *Los efectos de la robotización y de la inteligencia artificial en el sector automotriz* (tesis de pregrado). Universidad de Barcelona. Barcelona.

Bonilla J. (2003) “Rediseño del sistema de sujeción del cilindro de alimentación de una máquina de devanado para la planta CRISOL TEXTIL S.A. de C.V.” (tesis de pregrado) Universidad de las Américas de Puebla. México.

Castilla, J. (2015) *Protocolo de comunicación trabajador-robot mediante imágenes* (tesis de pregrado). Universitat de Vic Escola Politecnica Superior. España.

Castro, A. (2008) *Sensores utilizados en la Automatización Industrial* (tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática (2016). *Industria 4.0: la transformación digital de la industria*. Recuperado de: <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>

Cuevas E., Zaldívar D. y Pérez M. (2010) *Procesamiento digital de imágenes con Matlab y Simulink*. Madrid, España. RA-MA.

De la Fuente, E. y Trespaderne, F. (2012) *Visión artificial industrial procesamiento de imágenes para inspección automática y robótica*. Valladolid. España. Universidad e Valladolid Secretario de Publicaciones e Intercambio Editorial.

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza. *Conceptualización de la Robótica Industrial*. Recuperado de: <http://automata.cps.unizar.es/robotica/ConceptualizaciondelaRoboticaIndustrial.pdf>

Fuentes, P. (2002) *Giro de los ejes, Geometría analítica*. México. Recuperado de: https://expediente.ues.edu.sv/uiu/elementos_estudio/matematica/Jesus%20Infante%20Murillo%20-%20Geometria%20Analitica/9.%20Giro%20de%20los%20Ejes.pdf

García M., Álvarez, J., Cava, D. (2003) *“Robotrónica aplicaciones de la robótica”* (tesis de pregrado). Escola Univeritaria Politecnica de Vilanova i la Greltrú - Universitat Politecnica de Catalunya Cataluña

García, E. (1999) *Automatización de Procesos Industriales*. España. Editorial Universitat Politecnica de Valencia.

García, E. (1999) *Automatización de procesos industriales. Robótica y Automática*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia-España.

Gonzáles, M. (2007) *Propuesta para el diseño del proceso de paletización, en el almacenaje de productos de limpieza, de la empresa Henkel la Luz S.A.* (Tesis de pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Guanín, E. (2015) *Sistema de control electrónico mediante comandos de voz para un robot secuencial* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. Interescuelas y Departamentos. Salta.

Londoño, J. (2013) *Diseño cinemático de un sistema paletizador de producto terminado de la industria licorera de Caldas (ILC)* (Tesis de Posgrado) Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.

Manjarrés, P. (2009) *“Diseño y construcción de un sistema de transportación y clasificación por color y tipo de material”* (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Quito.

Nozal, A. (2018) *Medidas de palets: ¿cuáles son los estándares más extendidos?* Mecalux-logicmarket. Recuperado de <https://www.logismarket.es/blog/medidas-palets-estandares-extendidos/>

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), 2015. Informe sobre el Desarrollo Industrial 2016. El rol de la tecnología y la innovación en el desarrollo industrial inclusivo y sostenible. Resumen. Viena.

Parra, J. (2005) *Segmentación por umbralización, Método de Otsu*. Universidad Nacional de Quilmes. Argentina. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/JorgeAntonioParraSerquen/segmentacin-por-umbralizacin-mtodo-de-otsu>

Patiño L. & Hernández W. (2016) *Selección y clasificación de piezas mediante visión de máquina utilizando un robot industrial*. (Tesis de Pregrado) Universidad De La Salle. Bogotá DC.

Porras, J. (-) *Clasification system based on computer visión* (Articulo) Universidad Ricardo Palma, Perú

Reay, C. (2014) *Diseño e implementación de un sistema integrado de clasificación y control de calidad utilizando un manipulador tipo delta y mano robótica antropomórfica*. (Tesis de pregrado) Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá-Colombia. Recuperado de <https://www.inser-robotica.com/paletizado-robotizado/>

Roncal, J. (2015) *Diseño mecánico de un gripper para brazo robot para el paletizado de cajas de 20kg y pallets de 25kg* (Tesis de pregrado) Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima-Perú.

Sartelli, E. (2001) *¿Cómo se estudia la historia de la industria?*, (Artículo) VIII Jornadas

Schey, J. (2002) *Procesos de manufactura* /por John A. Schey; traducción de Javier León Cárdenas y revisión técnica de Juan Carlos Pedroza Montes. México. McGraw-Hill

Seika Group (2019) Los cinco niveles de la automatización industrial. Recuperado de <https://www.seika.com.mx/5-niveles-de-la-automatizacion-industrial/>

Sobrado, E. (2002) *Sistema De Visión Artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot*. (Tesis de Maestría) Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima-Perú

Suárez, A. (2016) *Diseño e implementación de una pinza automatizada para la apertura de recipientes contenedores en la celda HAS 200* (tesis de pregrado) Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá.

Valdivia, C. (2016) *Diseño de un Sistema de Visión Artificial para la Clasificación de Chirimoyas basado en medidas* (Tesis de Maestría) Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima-Perú.

ANEXOS

ANEXO 1.- Coeficiente fricción.

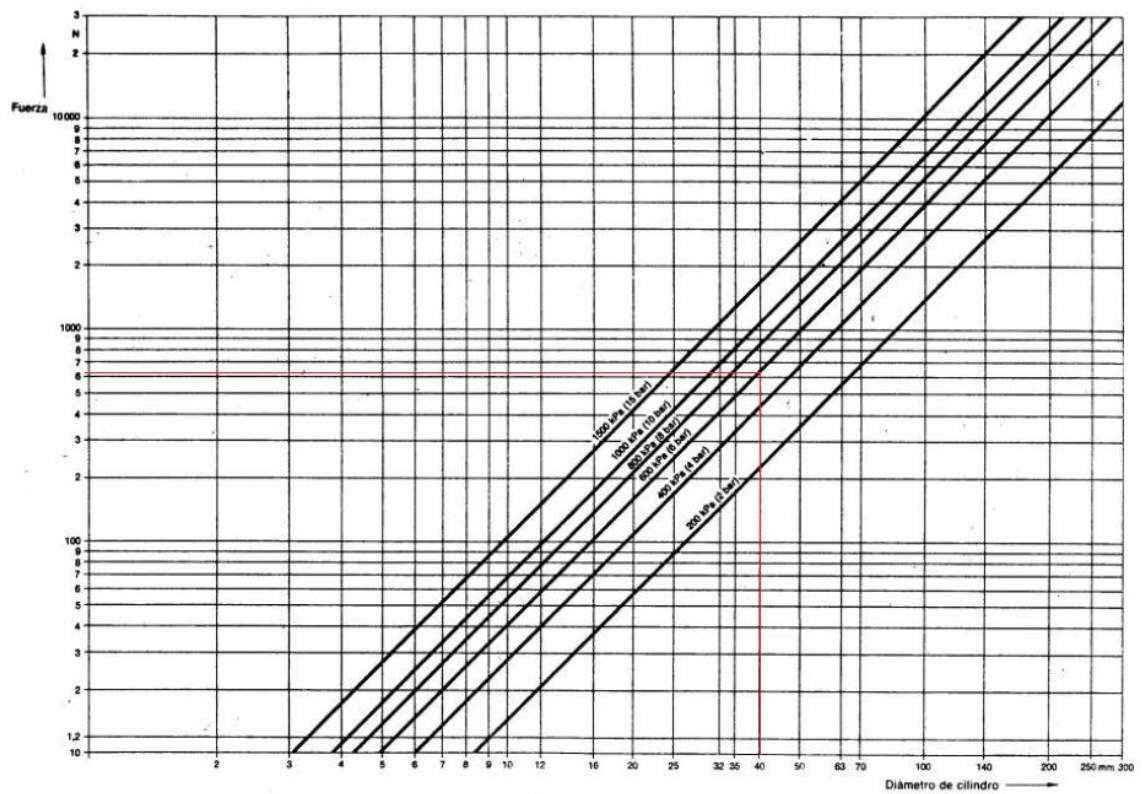
Coeficiente de fricción μ

<i>Material de fricción</i>	<i>Material de fricción</i>		<i>Rango de presión</i>	
	<i>En seco</i>	<i>En aceite</i>	<i>(psi)</i>	<i>(kPa)</i>
Compuestos moldeados	0.25–0.45	0.06–0.10	150–300	1 035–2 070
Materiales tejidos	0.25–0.45	0.08–0.10	50–100	345–690
Metal sinterizado	0.15–0.45	0.05–0.08	150–300	1 035–2 070
Corcho	0.30–0.50	0.15–0.25	8–15	55–100
Madera	0.20–0.45	0.12–0.16	50–90	345–620
Hierro fundido	0.15–0.25	0.03–0.06	100–250	690–1 725
Con base de papel	—	0.10–0.15	—	—
Grafito/resina	—	0.10–0.14	—	—

Tabla B-1 Coeficiente de fricción de materiales comunes sobre metal

Fuente: (Bonilla J., 2003, Apéndice B p.69)

ANEXO 2.- Diámetros normalizados.



ANEXO 3.- Factor de pandeo.

Tipos de montaje	Conexión del extremo del vástago	Tipo de conexión	Factor de pandeo
Grupos 1 o 3 - Los cilindros de gran longitud de carrera deben montarse usando en un extremo una base rígida y alineada para soportar la fuerza principal y en el extremo opuesto un soporte parecido. Se aconseja un soporte intermedio para el caso de carreras muy largas	Fijo y guiado rígido	I	0,5
	Pivote y guiado rígido	II	0,7
	Soporte sin guiado rígido	III	2
Grupo 2	Pivote y guiado rígido	IV	1
	Pivote y guiado rígido	V	1,5
	Pivote y guiado rígido	VI	2

ANEXO 4.- Área de trabajo del robot

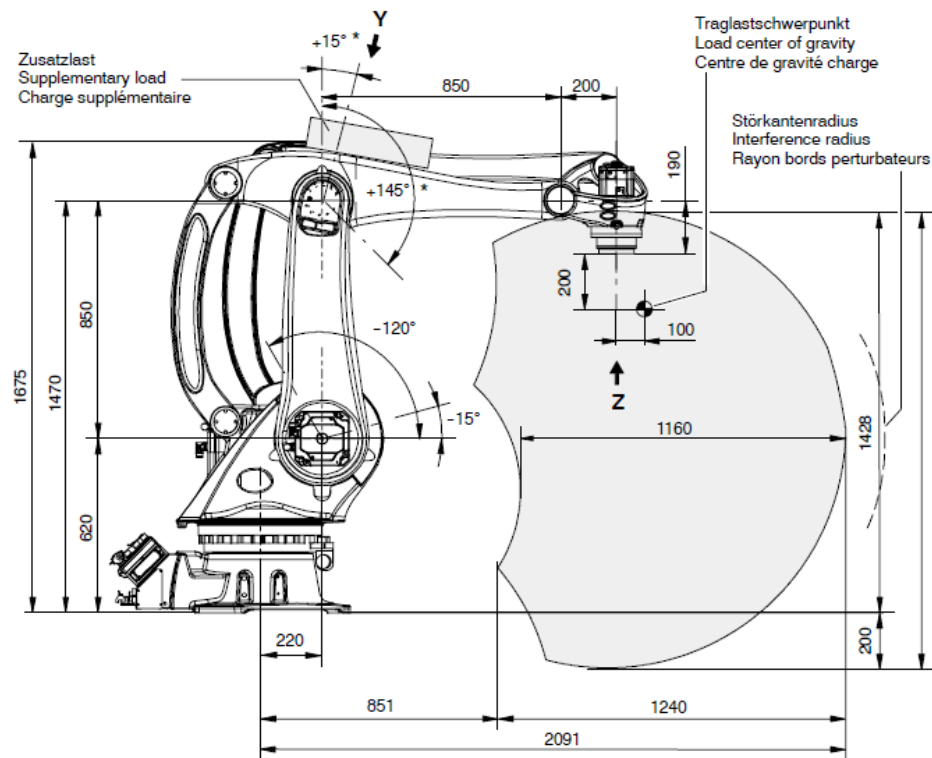


Figura 93. Robot Kuka KR 40 PA

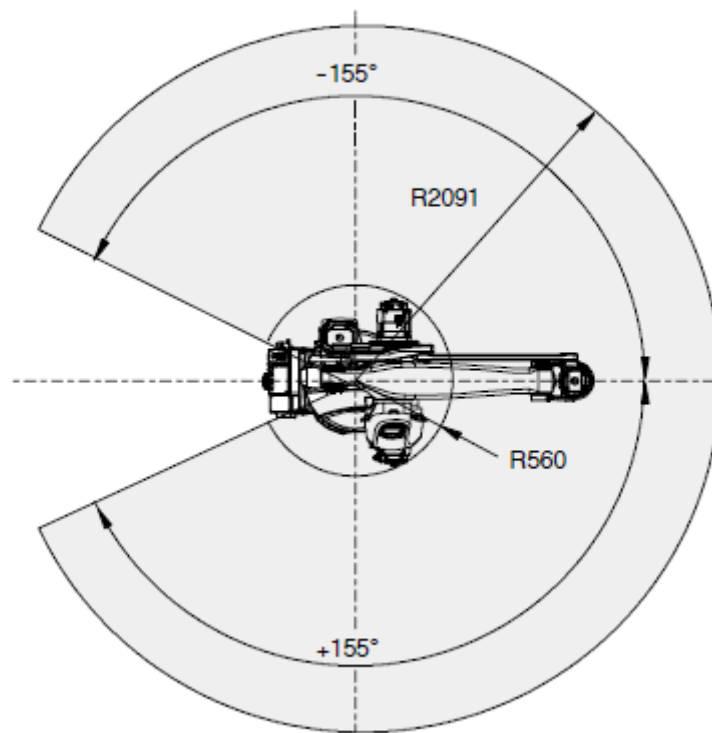
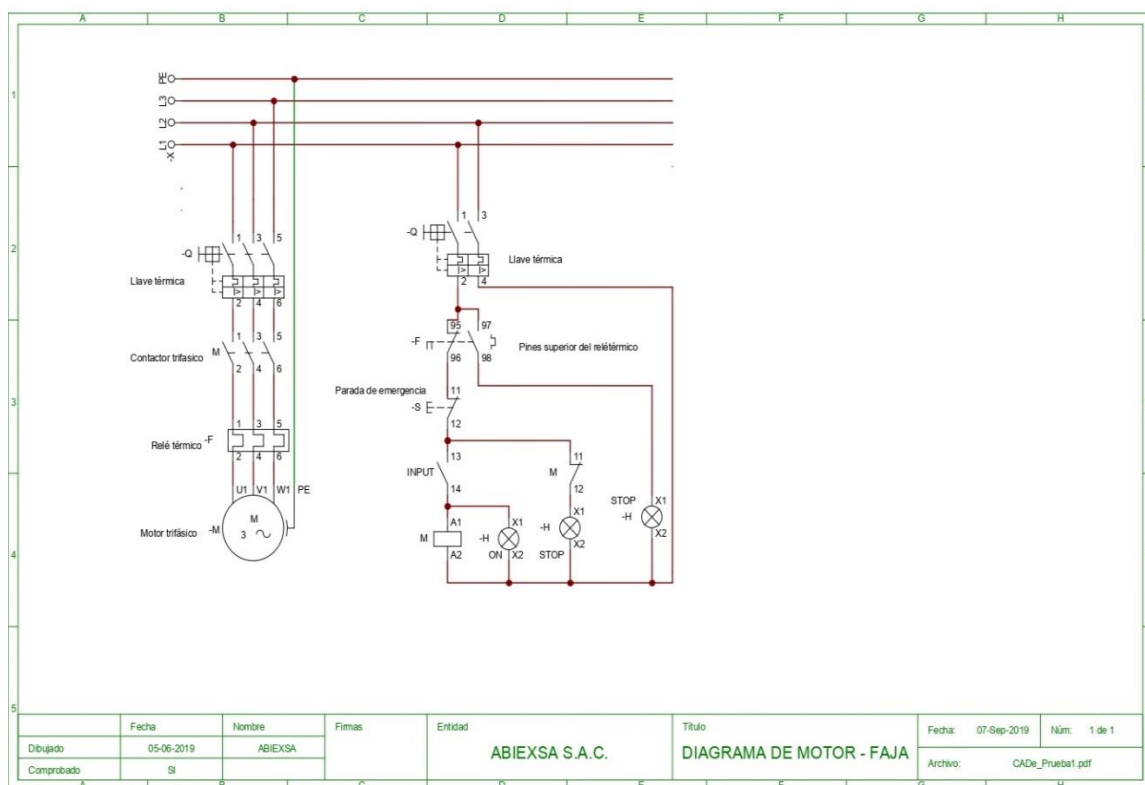


Figura 94. Espacio de trabajo del robot kuka KR 40 PA

ANEXO 5.- Plano eléctrico del motor de la faja transportadora.



Pistón Neumático Festo- Hoja técnica

Cilindro normalizado DSBC

Número de artículo: 1463250

Código del producto: DSBC-32-230-PA-N3

Especificaciones técnicas

Característica	Valor
Carrera	230 mm
Diámetro del émbolo	32 mm
Siglas del tipo	DSBC
Amortiguación	Amortiguación por topes elásticos/placa a ambos lados
Posición de montaje	Indiferente
Forma constructiva	Émbolo Vástago Tubo perfilado
Detección de la posición	Para sensores de proximidad
Presión de funcionamiento	0.05 ... 12.0 bar
Funcionamiento	Doble efecto
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Not. medio de trabajo/de mando	Puede funcionar con aire comprimido lubricado (de ahí en adelante, obligatorio)
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2 - riesgo de corrosión moderado
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Energía de impacto en pos. fin.	0.4 J
Fuerza teórica 6 bar, retorno.	415 N
Fuerza teórica 6 bar, avance	483 N
Adic. mas. en mov. p.10mm H.	0 g 9 g
Tipo de fijación	Con rosca interior con accesorios Indistintamente:
Conexión neumática	G1/8
Nota sobre los materiales	Contiene sustancias que afectan al proceso de pintura Conforme con RoHS
Información de materiales de la tapa	Fundición inyectada de aluminio, recubierta
Información de material de la camisa del cilindro	Aleación forjada de aluminio, superficie pulida y anodizada

ANEXO 6. Código Matlab

```

close all;
clc;
clear;
mycam=webcam('Microsoft LifeCam HD-3000');
%imaghwinfo(mycam) %informacion sobre la camara de video
$preview(mycam) %muestra la camara en tiempo real
while(1)
I=snapshot(mycam);
[filasimag,columnasimag,planopert]=size(i);%[m,n,r]=size(img);
subplot(3,3,1),imshow(img),title('camara en tiempo real');%-----
%-----convertir la imagen a escala de grisgris
ImagGris=zeros(filasimag,columnasimag);
for i=1:1:filasimag
    for j=1:1:columnasimag
        ImagGris(i,j)=I(i,j,1)*0.299 + I(i,j,2)*0.587 + I(i,j,3)*0.114;
    end
end
ImagGrisNew=uint8(ImagGris);
figure(2)
imshow(ImagGrisNew)%Imagen a escala de grises** de entre 0-250
%-----para realizar el grafico de intensidad
U=zeros(1,255);
U=zeros(1,255);
for r=1:1:255
    n=1;
    for i=1:1:filasimag
        for j=1:1:columnasimag
            s=ImagGrisNew(i,j);
            if r==s
                U(r)=n;
                n=n+1;
            end
        end
    end
end
figure(3)
plot(1:1:255,U) %(el primero hace una escala del 1:250 en X) u es la cantidad en Y

%-----Conversion a binario
%-----Conversion a binario
B=zeros(filasimag,columnasimag);
for i=1:1:filasimag
    for j=1:1:columnasimag
        if ImagGrisNew(i,j)>200
            B(i,j)=1;
        end
        if ImagGrisNew(i,j)<200
            B(i,j)=0;
        end
    end
end
figure(4)
imshow(B) %Imagen en binario**
%-----
%etiquetado
%-----Primer Etiquetado
Q=zeros(filasimag,columnasimag);

```

```

ETQD=1;
for i=2:1:filasimag-1
    for j=2:1:columnasimag-1
        s=B(i,j); %Imagen binaria

        if 1==s
            %-----equina superior
            v1=B(i-1,j-1);
            if v1==1
                ret=Q(i-1,j-1);
                if ret~=0
                    etq=Q(i-1,j-1);
                    Q(i,j)=etq;
                end
            end
            %-----parte superior
            v2=B(i-1,j);
            if v2==1
                ret=Q(i-1,j);
                if ret~=0
                    etq=Q(i-1,j);
                    Q(i,j)=etq;
                end
            end
            v3=B(i-1,j+1);
            if v3==1
                ret=Q(i-1,j+1);
                if ret~=0
                    etq=Q(i-1,j+1);
                    Q(i,j)=etq;
                end
            end
            %-----izquierda
            v4=B(i,j-1);
            if v4==1
                ret=Q(i,j-1);
                if ret~=0
                    etq=Q(i,j-1);
                    Q(i,j)=etq;
                end
            end
            %-----derecha
            v5=B(i,j+1);
            if v5==1
                ret=Q(i,j+1);
                if ret~=0
                    etq=Q(i,j+1);
                    Q(i,j)=etq;
                end
            end
        end
    end
end

```

```

        v6=B(i+1,j-1);
        if v6==1
            ret=Q(i+1,j-1);
            if ret~=0
                etq=Q(i+1,j-1);
                Q(i,j)=etq;
            end
        end
        %----- abajo
        v7=B(i+1,j);
        if v7==1
            ret=Q(i+1,j);
            if ret~=0
                etq=Q(i+1,j);
                Q(i,j)=etq;
            end
        end
        %----- esquina inferior derecha
        v8=B(i+1,j+1);
        if v8==1
            ret=Q(i+1,j+1);
            if ret~=0
                etq=Q(i+1,j+1);
                Q(i,j)=etq;
            end
        end
        resp= Q(i-1,j-1)+Q(i-1,j)+Q(i-1,j+1)+Q(i,j-1)+Q(i,j+1)+Q(i+1,j-1)+Q(i+1,j)+Q(i+1,j+1);
        if resp==0
            Q(i,j)=ETQD;
            ETQD=ETQD+1;
        end
    end
end

%ahora separar el numero de etiquetas
% Q matriz con las etiquetas ETQD
NETQT=zeros(1,ETQD);
for k=1:1:ETQD
    n=1;
    for i=1:1:filasimag-1
        for j=1:1:columnasimag-1
            s=MAT_NV(i,j);

            if s==k
                NETQT(1,k)=n;
                n=n+1;
            end
        end
    end
end

%-----grafico que muestra la cantidad de etiquetas
figure(7)
plot(1:1:ETQD,NETQT)

```

```

figure(7)
plot(1:1:ETQD,NETQT)

%para mostrar las figuras
Figura1=zeros(filasimag-1,columnasimag-1);
Figura2=zeros(filasimag-1,columnasimag-1);
Figura3=zeros(filasimag-1,columnasimag-1);
Figura4=zeros(filasimag-1,columnasimag-1);
%CAJA grande
]for k=1:1:ETQD
    s=NETQT(1,k);

    if 1080>=s && s>=1000
        msj1=msgbox('CAJA 1','CAJA 1');
        set(msj1,'color','r');
    ]
    for i=1:1:filasimag-1
    ]
        for j=1:1:columnasimag-1
            eval=MAT_NV(i,j);
            if eval==k
                Figura1(i,j)=ImagGris(i,j);
            end
        end
    end
    Figura1G=uint8(Figura1);
    Figura1G=uint8(Figura1);
    figure(8);
    imshow(Figura1G)
end
%CAJA MEDIANA
]for k=1:1:ETQD
    s=NETQT(1,k);
    if 1180>=s && s>=1100
        msj2=msgbox('CAJA2','CAJA2');
        set(msj2,'color','g');
    ]
    for i=1:1:filasimag-1
    ]
        for j=1:1:columnasimag-1
            eval=MAT_NV(i,j);
            if eval==k
                Figura2(i,j)=ImagGris(i,j);
            end
        end
    end
    % Figura2G=uint8(Figura2);
    Figura2G=uint8(Figura2);
    figure(9);
    imshow(Figura2G)
end

```

```

%CAJA CHICA
for k=1:1:ETQD
    s=NETQT(1,k);
    if 950>=s && s>=800
        msj3=msgbox('CAJA 3','CAJA 3');
        set(msj3,'color','g');
        for i=1:1:filasimag-1
            for j=1:1:columnasimag-1
                eval=MAT_NV(i,j);
                if eval==k
                    Figura3(i,j)=ImagGris(i,j);
                end
            end
        end
        Figura3G=uint8(Figura3);
        figure(10);
        imshow(Figura3G)
    end
end

```

Algoritmo del robot industrial.

```

&ACCESS RVP
&REL 11
&PARAM EDITMASK = *
&PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\vorgabe
&PARAM DISKPATH = Program/PROGRAMA
DEF PRINCIPAL( )
;FOLD INI;%{PE}
;FOLD BASISTECH INI
    GLOBAL INTERRUPT DECL 3 WHEN $STOPMESS==TRUE DO IR_STOPM ( )
    INTERRUPT ON 3
    BAS (#INITMOV,0 )
;ENDFOLD (BASISTECH INI)
;FOLD USER INI
    ;Make your modifications here

;ENDFOLD (USER INI)
;ENDFOLD (INI)

;FOLD INICIALIZAR VELOCIDADES
BAS(#BASE, 0)
BAS(#TOOL, 1)
BAS(#VEL_PTP, 10)
BAS(#ACC_PTP, 25)
BAS(#ACC_PTP, 25)
BAS(#VEL_CP, 0.15)
BAS(#ACC_CP, 50)

;ENDFOLD

;; condiciones iniciales

```

CONTA_BAHIA = 0

```
;FOLD OUT 7 'ESPERANDO ORDEN' State=FALSE ;%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VOUTX,%P 2:7, 3:ESPERANDO ORDEN,
5:FALSE, 6:
$OUT[7]=FALSE
;ENDFOLD
```

;FOLD READY ACCION

```
;FOLD PULSE 1033 'ABRIR GRIPPER' State=TRUE Time=0.5 sec;%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VPULSE,%P 2:1033, 3:ABRIR GRIPPER,
5:TRUE, 6:, 8:0.5
PULSE($OUT[1033], TRUE,0.5)
;ENDFOLD
;FOLD WAIT Time=1 sec;%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%CWAIT,%VWAIT,%P 3:1
WAIT SEC 1
;ENDFOLD
;FOLD PULSE 1030 'CERRAR GRIPPER' State=TRUE Time=0.5 sec;%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VPULSE,%P 2:1030, 3:CERRAR GRIPPER,
5:TRUE, 6:, 8:0.5
PULSE($OUT[1030], TRUE,0.5)
;ENDFOLD
;FOLD WAIT Time=1 sec;%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%CWAIT,%VWAIT,%P 3:1
WAIT SEC 1
;ENDFOLD
;FOLD PULSE 1033 'ABRIR GRIPPER' State=TRUE Time=0.5 sec;%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VPULSE,%P 2:1033, 3:ABRIR GRIPPER,
5:TRUE, 6:, 8:0.5
PULSE($OUT[1033], TRUE,0.5)
;ENDFOLD
```

;ENDFOLD

PTP XCASA

LOOP

```
;FOLD OUT 7 'ESPERANDO ORDEN' State=TRUE ;%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VOUTX,%P 2:7, 3:ESPERANDO ORDEN,
5:TRUE, 6:
$OUT[7]=TRUE
;ENDFOLD
```

SWITCH PROGRAM_NUMBER

CASE 0

inicio()

CASE 1

intercambio()

CASE 2
pickandplace()

CASE 3
manual()

ENDSWITCH

ENDLOOP

END

&ACCESS RV1
&REL 8
&PARAM EDITMASK = *
&PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\vorgabe
&PARAM DISKPATH = Program/PROGRAMA
DEF pickandplace()

DECL INT RESPUESTA
;FOLD INI;%{PE}
;FOLD BASISTECH INI
GLOBAL INTERRUPT DECL 3 WHEN \$STOPMESS==TRUE DO IR_STOPM ()
INTERRUPT ON 3
BAS (#INITMOV,0)
;ENDFOLD (BASISTECH INI)
;FOLD USER INI
;Make your modifications here

;ENDFOLD (USER INI)
;ENDFOLD (INI)

::condiciones iniciales antes de envio start por el plc

IF STARTT THEN

;FOLD OUT 7 'ESPERANDO ORDEN' State=FALSE ;%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VOUTX,%P 2:7, 3:ESPERANDO ORDEN,
5:FALSE, 6:
\$OUT[7]=FALSE
;ENDFOLD
;FOLD OUT 6 'PROGRAMA SECUNDARIO EN EJECUCION' State=TRUE
;%{PE}%R 8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VOUTX,%P 2:6, 3:PROGRAMA
SECUNDARIO EN EJECUCION, 5:TRUE, 6:
\$OUT[6]=TRUE
;ENDFOLD
;FOLD OUT 5 'TERMINADO' State=FALSE ;%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VOUTX,%P 2:5, 3:TERMINADO, 5:FALSE,
6:
\$OUT[5]=FALSE

;ENDFOLD

;; contador de pociones

CONTA = POSIC

LIN XPrePrePick

RECOJO(CONTA)

;FOLD INICIALIZAR VELOCIDADES

BAS(#BASE, 0)

BAS(#TOOL, 1)

BAS(#VEL_PTP, 10)

BAS(#ACC_PTP, 25)

BAS(#ACC_PTP, 25)

BAS(#VEL_CP, 0.15)

BAS(#ACC_CP, 50)

;ENDFOLD

LIN XPrePrePick

LIN XCASA

LIN XPreCambio

LIN XCambio

;;cojer las cajas abrir gripper

;FOLD PULSE 1033 'ABRIR GRIPPER' State=TRUE Time=0.5 sec;{%PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VPULSE,%P 2:1033, 3:ABRIR GRIPPER,
5:TRUE, 6:, 8:0.5

PULSE(\$OUT[1033], TRUE,0.5)

;ENDFOLD

;FOLD WAIT Time=1 sec;{%PE}%R

8.3.43,%MKUKATPBASIS,%CWAIT,%VWAIT,%P 3:1

WAIT SEC 1

;ENDFOLD

LIN XPreCambio

BAS(#VEL_CP, 0.05)

LIN XGiroCambio

BAS(#VEL_CP, 0.1)

LIN XPickCambio

;FOLD PULSE 1030 'CERRAR GRIPPER' State=TRUE Time=0.5 sec;{%PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VPULSE,%P 2:1030, 3:CERRAR GRIPPER,
5:TRUE, 6:, 8:0.5

PULSE(\$OUT[1030], TRUE,0.5)

;ENDFOLD

;FOLD WAIT Time=1 sec;{%PE}%R

8.3.43,%MKUKATPBASIS,%CWAIT,%VWAIT,%P 3:1

```
WAIT SEC 1
;ENDFOLD
```

```
LIN XGiroCambio
BAS(#VEL_CP, 0.05)
LIN XPreCambio
BAS(#VEL_CP, 0.1)
```

```
LIN XCASA
```

```
;;verificar el estado de las cajas
```

```
CONTA_BAHIA = CONTA_BAHIA + 1
DEPOSITO(CONTA_BAHIA)
```

```
IF CONTA_BAHIA == 4 THEN
  DIALOGO(Respuesta)
```

```
  SWITCH Respuesta
    CASE 1
      CONTA_BAHIA = 0
    CASE 2
```

```
      CONTA_BAHIA = 0
    ENDSWITCH
```

```
ENDIF
```

```
LIN XCASA
ENDIF
```

```
;FOLD OUT 6 'PROGRAMA SECUNDARIO EN EJECUCION' State=FALSE
;{%PE}%R 8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VOUTX,%P 2:6, 3:PROGRAMA
SECUNDARIO EN EJECUCION, 5:FALSE, 6:
$OUT[6]=FALSE
;ENDFOLD
;FOLD OUT 5 'TERMINADO' State=TRUE ;{%PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VOUTX,%P 2:5, 3:TERMINADO, 5:TRUE, 6:
$OUT[5]=TRUE
;ENDFOLD
END
```

::recoger caja

```
DEF RECOJO(NUMERO:IN)
DECL INT NUMERO
DECL INT CONTADOR
DECL INT I
DECL INT J

CONTADOR = 0

FOR I = 1 TO 3
  FOR J = 1 TO 5
    CONTADOR = CONTADOR + 1
    IF CONTADOR == NUMERO THEN
      EXIT
    ENDIF
  ENDFOR
  IF CONTADOR == NUMERO THEN
    EXIT
  ENDIF
ENDFOR

RECOGER (I,J)

END
```

```
DEF DEPOSITO(NUMERO:IN)

DECL INT NUMERO
DECL INT CONTADOR
DECL INT I
DECL INT J

CONTADOR = 0

FOR I = 1 TO 2
  FOR J = 1 TO 2
    CONTADOR = CONTADOR + 1
    IF CONTADOR == NUMERO THEN
      EXIT
    ENDIF
  ENDFOR
  IF CONTADOR == NUMERO THEN
    EXIT
  ENDIF
ENDFOR

DEJAR (I,J)

END
```

```

&ACCESS RV1
&REL 10
&PARAM EDITMASK = *
&PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\vorgabe
&PARAM DISKPATH = Program/PROGRAMA
DEF inicio( )
;FOLD INI;{%PE}
;FOLD BASISTECH INI
  GLOBAL INTERRUPT DECL 3 WHEN $STOPMESS==TRUE DO IR_STOPM ( )
  INTERRUPT ON 3
  BAS (#INITMOV,0 )
;ENDFOLD (BASISTECH INI)
;FOLD USER INI
  ;Make your modifications here

;ENDFOLD (USER INI)
;ENDFOLD (INI)
IF STARTT THEN

;;condiciones iniciales

;FOLD OUT 7 'ESPERANDO ORDEN' State=FALSE ;{%PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VOUTX,%P 2:7, 3:ESPERANDO ORDEN,
5:FALSE, 6:
$OUT[7]=FALSE
;ENDFOLD
;FOLD OUT 6 'PROGRAMA SECUNDARIO EN EJECUCION' State=TRUE
;{%PE}%R 8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VOUTX,%P 2:6, 3:PROGRAMA
SECUNDARIO EN EJECUCION, 5:TRUE, 6:
$OUT[6]=TRUE
;ENDFOLD
;FOLD OUT 5 'TERMINADO' State=FALSE ;{%PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VOUTX,%P 2:5, 3:TERMINADO, 5:FALSE,
6:
$OUT[5]=FALSE
;ENDFOLD

;;puntos de referencia y verificacion de posicion

;FOLD PTP P1 CONT Vel=20 % PDAT1 Tool[1]:GRIPPER Base[0];{%PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:P1, 3:C_DIS, 5:20,
7:PDAT1
$BWDSTART=FALSE
PDAT_ACT=PPDAT1
FDAT_ACT=FP1
BAS(#PTP_PARAMS,20)
PTP XP1 C_DIS
;ENDFOLD

```

```

;FOLD PTP P2 CONT Vel=20 % PDAT2 Tool[1]:GRIPPER Base[0];%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:P2, 3:C_DIS, 5:20,
7:PDAT2
$BWDSTART=FALSE
PDAT_ACT=PPDAT2
FDAT_ACT=FP2
BAS(#PTP_PARAMS,20)
PTP XP2 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD PTP P3 CONT Vel=20 % PDAT3 Tool[1]:GRIPPER Base[0];%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:P3, 3:C_DIS, 5:20,
7:PDAT3
$BWDSTART=FALSE
PDAT_ACT=PPDAT3
FDAT_ACT=FP3
BAS(#PTP_PARAMS,20)
PTP XP3 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD PTP P4 CONT Vel=20 % PDAT4 Tool[1]:GRIPPER Base[0];%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:P4, 3:C_DIS, 5:20,
7:PDAT4
$BWDSTART=FALSE
PDAT_ACT=PPDAT4
FDAT_ACT=FP4
BAS(#PTP_PARAMS,20)
PTP XP4 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD PTP P5 CONT Vel=20 % PDAT5 Tool[1]:GRIPPER Base[0];%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:P5, 3:C_DIS, 5:20,
7:PDAT5
$BWDSTART=FALSE
PDAT_ACT=PPDAT5
FDAT_ACT=FP5
BAS(#PTP_PARAMS,20)
PTP XP5 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD PTP P6 CONT Vel=20 % PDAT6 Tool[1]:GRIPPER Base[0];%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:P6, 3:C_DIS, 5:20,
7:PDAT6
$BWDSTART=FALSE
PDAT_ACT=PPDAT6
FDAT_ACT=FP6
BAS(#PTP_PARAMS,20)
PTP XP6 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD PTP P7 CONT Vel=20 % PDAT7 Tool[1]:GRIPPER Base[0];%{PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:PTP, 2:P7, 3:C_DIS, 5:20,
7:PDAT7
$BWDSTART=FALSE
PDAT_ACT=PPDAT7
FDAT_ACT=FP7
BAS(#PTP_PARAMS,20)
PTP XP7 C_DIS
;ENDFOLD

```

ENDIF

```
;FOLD OUT 6 'PROGRAMA SECUNDARIO EN EJECUCION' State=FALSE
;{%PE}%R 8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VOUTX,%P 2:6, 3:PROGRAMA
SECUNDARIO EN EJECUCION, 5:FALSE, 6:
$OUT[6]=FALSE
;ENDFOLD
;FOLD OUT 5 'TERMINADO' State=TRUE ;{%PE}%R
8.3.43,%MKUKATPBASIS,%COUT,%VOUTX,%P 2:5, 3:TERMINADO, 5:TRUE, 6:
$OUT[5]=TRUE
;ENDFOLD
END
```

ANEXO 7

Página de inicio de la clase

Esta es la página de inicio de su clase. Para entregar un trabajo, haga clic en el botón de "Entregar" que está a la derecha del nombre del ejercicio. Si el botón de Entregar aparece en gris, no se pueden realizar entregas al ejercicio. Si está permitido entregar trabajos más de una vez, el botón dirá "Entregar de nuevo" después de que usted haya entregado su primer trabajo al ejercicio. Para ver el trabajo que ha entregado, pulse el botón "Ver". Una vez la fecha de publicación del ejercicio ha pasado, usted también podrá ver los comentarios que le han dejado en el trabajo haciendo clic en el botón de "Ver".

Bandeja de entrada del ejercicio: PET_2019-2				
Título del Ejercicio	Información	Fechas	Similitud	Acciones
PET_2019-2		Comienzo 20-ago.-2019 3:39PM Fecha de entrega 06-oct.-2019 11:59PM Publicar 06-oct.-2019 11:59PM	19%	Enviar Ver

[Skip to Main Content](#)

Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Jarni Raí CASTILLO YARLEQUÉ
Título del ejercicio:	PET_2019-2
Título de la entrega:	"Diseño de un proceso de paletizad...
Nombre del archivo:	Castillo YarlequÃ© Jarni RaÃ Cap I_...
Tamaño del archivo:	5.01M
Total páginas:	128
Total de palabras:	18,608
Total de caracteres:	109,283
Fecha de entrega:	06-oct.-2019 11:59p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	1168987096

UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA
DEL PERÚ

Facultad de Ingeniería